

雙 月 刊
核能簡訊
NUCLEAR
NEWSLETTER
NO. 159
2016 APRIL
日本民眾為何同意川內核電廠再啟動？
從台南大地震看核電廠的「能耐」
中國十三五計畫擴大核能建設
英國用過核燃料再處理設施近況
美國就高放處置場址正廣徵民意
5年後的福島
適合我們居住嗎？

核能簡訊 NUCLEAR NEWSLETTER

NO.159雙月刊
APRIL 中華民國一〇五年四月號

封面故事

1 5年後的福島，適合我們居住嗎？ 丹尼斯．諾麥爾
5 日本民眾為何同意川內核電廠再啟動？ 張文杰

熱門話題

11 從台南大地震看核電廠的「能耐」 編輯室
15 中國十三五計畫擴大核能建設──製造業是強國戰略之本 朱鐵吉
19 龍門核電廠建廠管制報導 編輯室

專題報導

20 英國用過核燃料再處理設施現況 編輯室
29 參加兩岸放射性廢棄物地質處置技術研討會與考察甘肅北山場址 施純寬

輻射與生活

34 以輻射為藥，給癌細胞精準有效的近身打擊 廖英凱

核能脈動

37 中國對核能緊急應變能力信心十足 編輯室
38 美國就高放處置場址正廣徵民意 編輯室
39 日本內閣提案修法支持用過核燃料再處理 編輯室
40 瑞士專家：最終處置場址調查應包括3處場址 編輯室

核能新聞

42 國外新聞 編輯室
45 國內新聞 編輯室

出版單位：財團法人核能資訊中心
地　　址：新竹市光復路二段一O一號研發大樓208室
電　　話：（03）571-1808
傳　　真：（03）572-5461
網　　址：http://www.nicenter.org.tw
E-mail：nicenter@nicenter.org.tw
發 行 人：朱鐵吉
編輯委員：李四海、李清山、汪曉康、陳布燦、陳條宗、劉仁賢、謝牧謙、簡福添（依筆畫順序）
主　　編：朱鐵吉
文　　編：鍾玉娟、翁明琪、林庭安
執　　編：羅德禎
設計排版：長榮國際　文化事業本部
地　　址：台北市民生東路二段166號6樓
電　　話：02-2500-1175
製版印刷：長榮國際股份有限公司　印刷廠
行政院原子能委員會敬贈　廣告
台灣電力公司核能後端營運處敬贈　廣告

編者的話

歷經地震、海嘯及核災，5年後福島災區仍極力進行著復原工作，日本東京電力公司保守估計，清除有害輻射物質可能需時30至40年。隨著除污的進展，日本政府期望能於2017年讓70%的避難者重返家園。首相安倍晉三坦言仍有很多災民被迫過着艱苦生活，他承諾會全力處理，加緊興建設施，保護核電廠去污時產生的廢棄物。對於核災引起的核電廢存爭議，安倍強調，日本資源稀少，「在考量經濟效率及氣候變遷的同時，若要確保能源供應穩定，就不能缺少核電」。

2011年日本311事故後，日本全面停核的同時大量買進天然氣替代，造成了國際液化天然氣價格的一大波漲幅；對天然氣的需求遽增，更造成日本近年來的貿易均是赤字。因此，日本已開始準備逐步復核，以降低發電用天然氣需求，預定未來數年內將恢復更多核電廠營運，使天然氣進口需求至2030 年大減 3 成，規劃2030年液化天然氣發電占比將由2013年的43%降至26%。在「日本民眾為何同意川內機組再啟動」一文與讀者們分享：日本核電產業的模範生──九州電力公司，除了受到政府的支持與核電政策的帶領，同時也得到地方政府的理解與協助，更努力加強與民眾溝通並取得支持再啟動的共識。此外，他們也理解，溝通最重要的不是說服，是坦然接受民眾因福島事故而對核能不安的事實，持續與民眾維持緊密的雙向對話，努力建立彼此的信賴關係。

2月的台南大地震，震出了我國民眾對核能電廠耐震設計的憂慮。回想日本311事故，地震並未對日本核電機組或廠房造成任何的傷害；不只是日本，全世界核電廠的耐震設計，皆已進行考察、評估、計算而訂定出最高標且嚴謹的規格。台灣的核電廠已能做到：在地震發生之時，直要感應到0.1g的晃動（一般建築物耐震設計值達0.28g），2秒內控制棒即迅速插入爐心，使反應爐安全停機。

台灣的能源政策至今一直搖擺不定，在一片反核聲浪中，迫使已經建造完成的核四廠遭封存，只能等待新政府來決定它的命運。眼見日本核子事故後，復原重建的漫漫長路，也許核能發電不是最為理想的電力來源，但現今卻仍未能尋找出十全十美的發電方式；缺乏自主能源的台灣，如何在經濟、環境、安全等各方面，尋找出最適當的發電方式配比，的確是非常大的考驗，不僅考驗著政府的智慧，也考驗著人民的理性。

5 年後的福島，適合我們居住嗎？

文・丹尼斯・諾麥爾

福島第一核電廠的復原工作是漫長而艱辛的，現今工作人員在處理反應爐周遭污染區的除污作業已有所進展，5年前因核子事故而避難的居民，還在為是否返鄉而天人交戰。發生爐心熔毀的反應爐仍屬於危險區域，工作人員正準備開始移除熔毀的核燃料。

2011年3月11日，日本東北地區發生9.0強震，引發高達40公尺的海嘯，造成15,893人死亡、2,572人失蹤，127,290棟房屋全毀，另有超過百萬棟建築受損，同時也引起福島核子事故，電廠周圍20公里內15萬居民因此被迫撤離避難。

現在，這些核災難民正面對一個課題：我們故鄉的輻射劑量要到什麼程度才安全？到目前為止，日本政府已經刨除



▲ 起重機吊起臨時篷罩的一部分，為了遮蔽福島第一核電廠 1 號機廠房內的殘骸，防塵的效果還有待評估。（圖片：朝日新聞）



▲ 福島第一核電廠內擠滿了 10 公尺高的水槽，用來儲存使核燃料降溫的冷卻水和流經廠區的地下水，全部的污水大約 75 萬噸。（圖片：朝日新聞）

900萬立方公尺受污染的土壤與樹葉，沖洗建築物與道路，目標是將戶外的輻射劑量減至每小時0.23毫西弗。

2015年9月，日本政府解除了福島第一核電廠20公里範圍內7個市町全部、或部分地區的避難命令；隨著除污工作的進展，日本政府希望2017年春天能有70%的避難者能獲准返鄉。

不過，避難者對於安全與賠償問題提出了抗議，許多人聲稱他們是被迫返鄉的，因為他們覺得輻射劑量還是太高。南相馬市市長櫻井（Katsunobu Sakurai）表示：「我們一直都缺乏輻射相關的教育。」南相馬市有14,000名居民過著避難生活，櫻井市長說：「在不瞭解輻射劑量的意義，以及多少劑量是安全的情況下，要這些避難者下決定是很困難的。」

日本政府與福島核電廠的擁有者一東京電力公司，打算不再給付補償金給那些拒絕返鄉的避難者，導致一些民間團體因此提起訴訟。至於福島第一核電廠的高污染區域，目前仍維持無限期關閉狀態。

電廠經理小野明（Akira Ono）近日向記者表示，電廠處於非常穩定的狀態，過去5年來，核燃料的輻射與溫度都已大幅降低。但是，礙於熔融的核燃料仍無法確定位在何處，以致於除污工作難以實質開展。2015年時電廠管理幹部同意了反應爐除役的規劃藍圖（road map），未來將耗費30-40年移除熔融的燃料塊，拆除4座

反應爐廠房，經費大約90億美元。東京電力公司預計2021年開始從反應爐中移除核燃料殘骸。

2014年12月，工作人員終於將4號機用過燃料池內最後的1,535組燃料束移出，在克服了這道難關之後，小野經理認為除役工作已經完成了大約10%。

小野經理表示，目前最大的挑戰是解決污水問題。他們必須在1、2號機熔毀的核燃料上持續不斷的澆灌冷卻水，同時也要保持3號機用過核燃料池的水位，以避免燃料再度過熱而熔融。

這些被輻射污染的冷卻水流入廠房的地下室，與地下水混合。為了減少滲入海洋的污水數量，東京電力公司將這些污水集中儲存於10公尺高的鋼製水槽中。這些水槽遍布廠區各個角落，貯存水量達75萬噸。日本政府正在評估除去污水中「氚」的實驗技術，小野說，在水槽即將占滿廠區空地之前，迫切需要可行的解決方案。

東京電力公司已經找到疏導廠區地下水的方法，將每天滲透的地下水減少至150噸，然後加以凍結。運用隧道施工時所使用的製造地下障礙的技術，承包商將大約1,500支管子打進30公尺深的岩床內，在4個受損的反應爐周圍製造出類似地下柵欄的設施。再將管子內循環的鹽水冷卻至-30℃，可凍結管子之間的土壤，所形成的凍土壁可將地下水阻擋在外，而將污水保持在壁內。

東京電力公司最艱鉅的任務是如何取出核燃料殘骸，根據模型分析顯示，1號機熔毀的核燃料如果不是全部也是大多數，已經熔穿了反應爐壓力容器的底部，可能掉進壓力容器基座下方的混凝土中。2號機與3號機則是部分熔融，一些燃料可能還留在爐心內。

東京電力公司和其他單位共同成立的國際核子除役研究所（International Research Institute for Nuclear Decommissioning）嘗試確認熔融燃料的位置和狀態，已運用μ子（muon）探測反應爐內部。由於鈾比鋼鐵或混凝土的密度高，利用μ子成像可能可以找到燃料殘骸。

2015年2月，位於筑波的日本高能加速器研究機構（Japan's High Energy Accelerator Research Organization）提供兩個大約箱型車大小的μ子探測器，東京電力公司將其放在緊鄰1號機的地上。經過一個月收集μ子之後，探測器確認沒有核燃料留在爐心內。由於探測器是放置在地面上，無法呈現反應爐廠房地下室的狀況，因此也不能確認核燃料的位置或是狀態如何。東京電力公司計畫利用機器人來尋找燃料殘骸的位置，以便訂定移除的對策。

第2個研究小組已經開發出可以觀察反應爐內部細節的μ子探測器。為了福島，來自美國新墨西哥州洛斯阿拉莫斯國家實驗室（Los Alamos National Laboratory）的研究人員，和日本東芝公司共同製造了跨距7公尺的超大型探測器，他們計畫放置在2號機外側。這項工作因為東京電力公司決定首次發送機器人進入反應爐容器而展延；但是過高的輻射劑量使這項計畫再度延遲。在需要工人進入作業的區域內，會部署機器人先清洗地



▲ 福島第一核電廠 2 號機旁放置的 μ 子探測器（圖片：東京電力公司）

板和牆壁，小野說，「我們當前的任務是降低人員的輻射曝露」。

儘管政府當局致力於清除輻射污染並安置居民，一些當地人決定要靠自己判斷安全性如何。2014年，福島市疏散區外一群積極認真的高中生，推動了一項國際測量輻射劑量計畫（International Radiation-dosimetry Project）。分別來自福島縣內6所、日本其他地區6所，以及法國4所、波蘭8所、白俄羅斯2所學校的216名學生與老師，他們帶著輻射劑量計2週的期間，詳細紀錄他們的行蹤與活動。其中的小野寺遙（Haruka Onodera）說：「我想知道我的輻射曝露劑量有多高，也想和生活在其他地方的人的劑量做比較。」他是福島高中「超級科學俱樂部」的成員。2015年11月，這群學生在《輻射防護（Radiological Protection）》期刊發表他們的研究結果，結論是：「和那些生活在別處的高中學生相比，福島縣的高中生並沒有受到較高水平的輻射危害。」小野寺說。

這也許是福島居民的好消息，但是對於流離失所的人而言，在權衡是否回到鄰近殘破核電廠的家園時，這只是個寒冷的安慰。

（本文作者丹尼斯・諾麥爾（Dennis Normile），為《科學（Science）》雜誌記者）

資料來源：

http://www.sciencemag.org/news/2016/03/five-years-after-meltdown-it-safe-live-near-fukushima?utm_source=sciencemagazine&utm_medium=facebook-text&utm_campaign=fukushimafeature-2703

日本民眾為何同意川內核電廠再啟動？

文・張文杰

前言

筆者於2016年3月4日有幸參加台電公司與中華民國核能學會主辦的「九州電力川內核電廠再啟動論壇」，日方有來自日本原子力產業發展協會（JAIF）與九州電力川內核電廠的貴賓，當天獲得許多有關日本核能發展與川內核電廠再啟動的最新資料，在此與大家分享。

日本經濟產業省在去年公布的2030年全國電力配比方案中，液化天然氣的占比為27%、燃煤26%、石油3%、核能20-23%、再生能源22-24%，詳如圖1所示。

從圖中可看出，2030年與2013年的電力配比相較，核能與再生能源的占比都呈上升趨勢，這也說明了核能與再生能源的發展並不衝突，兩者皆是重要的低碳能源來源。火力發電雖仍是日本主要的發電方式，但是液化天然氣、燃煤與石油這3種火力發電的占比都呈下降趨勢。換言之，日本未來能源的努力方向，期望藉由同時發展核能與再生能源，讓火力發電的占比不要過高。

日本明定核電是重要的基載電力來源，但也不會將依存度提升太高，2030年核電占比為20-22%，預計需要33-35部核電機組，要達到此數字，除了運轉40年的機組要進行延役之外，也必須蓋新的機組。

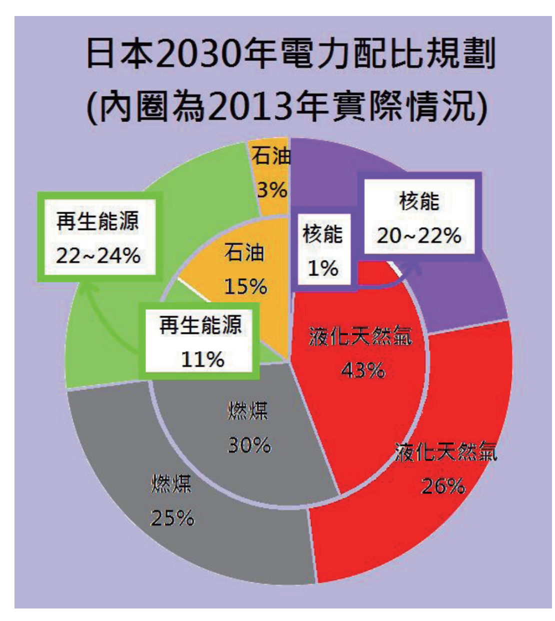


圖 1. 外圈為日本規劃 2030 年的電力配比方案，內圈為 2013 年的實際占比

我國與日本在地理位置上鄰近，文化風俗相似，也同屬缺乏自產能源的島國，所以日本的電力配比與核能發展，向來備受國人關注，也值得我國借鏡。

日本各種發電方式的成本

日本針對長期能源供需對策的委員會，會定期做出各種發電成本的報告，根據最新一期在2015年5月的報告[1]。核能發電成本

中加入事故對應所需費用、賠償費、追加的安全對策費、放射性廢棄物再處理、鈽鈾混合燃料（MOX）加工等費用，成本約為10.1日圓/度，仍屬日本所有發電方式中成本最低的發電方式，如圖2所示。

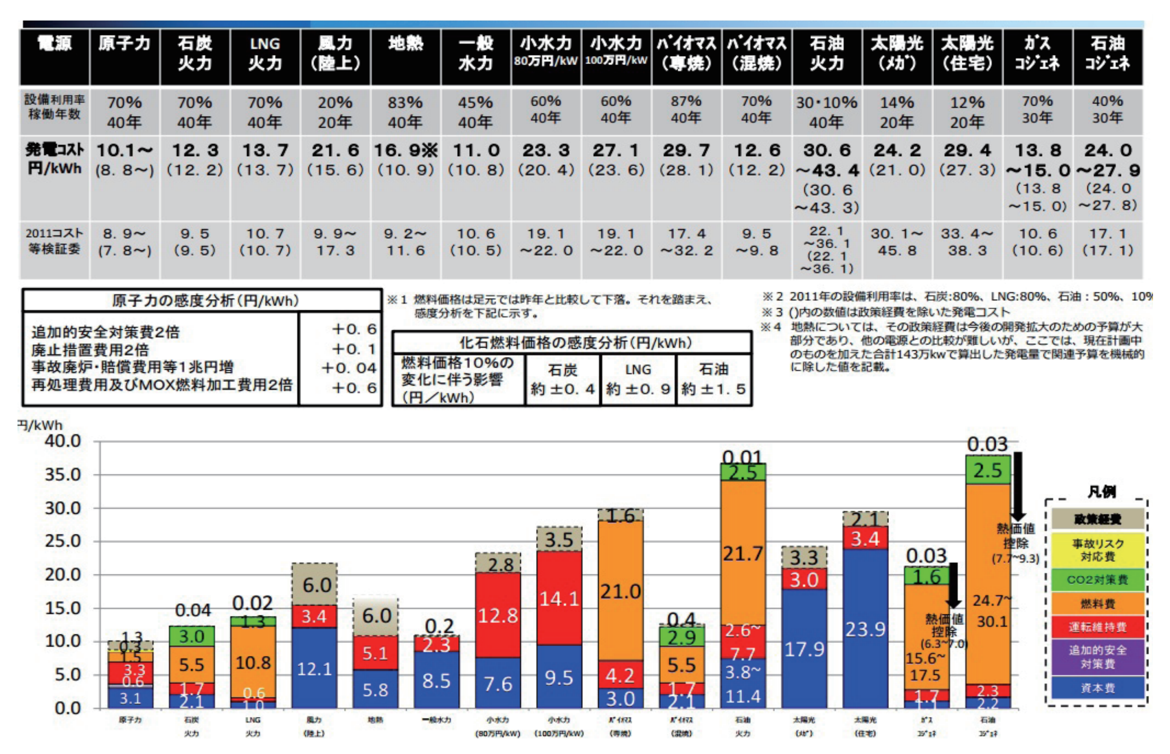
日本核安舊基準的缺失

「日本品牌」的絕佳口碑，蜚聲國際，台灣人也普遍認為日本人做事是很嚴謹的，所以有些人會認為，連日本都出事了，怎麼能保證我國核安比日本好？

日本人在規範之內的事物，的確是用非常嚴謹的精神去看待。據曾參訪日本核電廠的經驗，日本核電廠的環境乾淨程度已經到一塵不染的境界，真的是做到可以戴著白手套去檢查的程度。還有設備的妥善率也是非常好，這點跟台灣或國際的核電廠相比，可謂有過之而無不及。

不過日本的問題出在訂定「規範」時太過自信，多半沒有跟隨國際間的標準，而採用自訂的標準。福島核災前，日本人認為日本的核電廠不可能發生任何超過設計基準的嚴重事故，因此日本核電廠在嚴重事故的對策上，是採「由業者自行考量」，如此一來，才會發生對策不夠周延的窘境。

舉例來說，早在福島核災前，便曾有不少專家向東京電力公司提出「福島第一核電廠防海嘯能力不足」的警訊，但東京電力公司並未理會，事後證明海嘯確實是引發福島核災的主因之一。再舉另一個例子，我國核電廠定期舉行「核安演習」，但福島第一核電廠從未舉行過核安演習。記得福島核災前



電源	原子力	石炭火力	LNG火力	風力（陸上）	地熱	一般水力	小水力 80万円/kW	小水力 100万円/kW	バイオマス（専焼）	バイオマス（混焼）	石油火力	太陽光（メガ）	太陽光（住宅）	ガスコジェネ	石油コジェネ
設備利用率 稼働年数	70% 40年	70% 40年	70% 40年	20% 20年	83% 40年	45% 40年	60% 40年	60% 40年	87% 40年	70% 40年	30・10% 40年	14% 20年	12% 20年	70% 30年	40% 30年
発電コスト 円/kWh	10.1～ (8. 8～)	12. 3 (12. 2)	13. 7 (13. 7)	21. 6 (15. 6)	16. 9※ (10. 9)	11. 0 (10. 8)	23. 3 (20. 4)	27. 1 (23. 6)	29. 7 (28. 1)	12. 6 (12. 2)	30. 6 ～43. 4 (30. 6 ～43. 3)	24. 2 (21. 0)	29. 4 (27. 3)	13. 8 ～15. 0 (13. 8 ～15. 0)	24. 0 ～27. 9 (24. 0 ～27. 8)
2011コスト等検証委	8. 9～ (7. 8～)	9. 5 (9. 5)	10. 7 (10. 7)	9. 9～ 17. 3	9. 2～ 11. 6	10. 6 (10. 5)	19. 1 ～22. 0	19. 1 ～22. 0	17. 4 ～32. 2	9. 5 ～9. 8	22. 1 ～36. 1 (22. 1 ～36. 1)	30. 1～ 45. 8	33. 4～ 38. 3	10. 6 (10. 6)	17. 1 (17. 1)

原子力の感度分析（円/kWh）	
追加的安全対策費2倍	+0. 6
廃止措置費用2倍	+0. 1
事故廃炉・賠償費用等1兆円増	+0. 04
再処理費用及びMOX燃料加工費用2倍	+0. 6

※1 燃料価格は足元では昨年と比較して下落。それを踏まえ、感度分析を下記に示す。

化石燃料価格の感度分析（円/kWh）			
燃料価格10%の変化に伴う影響（円／kWh）	石炭 約 ±0. 4	LNG 約 ±0. 9	石油 約 ±1. 5

※2 2011年の設備利用率は、石炭:80%、LNG:80%、石油：50%、10%

※3 ()内の数値は政策経費を除いた発電コスト

※4 地熱については、その政策経費は今後の開発拡大のための予算が大部分であり、他の電源との比較が難しいが、ここでは、現在計画中のものを加えた合計143万kwで算出した発電量で関連予算を機械的に除した値を記載。

圖 2. 日本彙整各種發電方式的成本[1]

一年，參訪日本電力研究所時，當討論到「核安演習」的相關議題時，只見日本人一臉不以為然的神情。也難怪在發生福島核災的當下，福島第一核電廠現場的機動處置與疏散管理十分混亂。

日本核安新基準

福島核災後，日本痛定思痛，決定仿效美國核能管制委員會（Nuclear Regulatory Commission，NRC，簡稱美國核管會）整併國內相關機關，於2012年9月19日成立具獨立屬性的核能管制機關「原子力規制委員會（Nuclear Regulation Authority，NRA，簡稱日本原規會)」。同時，參考國際核安標準與國內情況，制定核安新基準，交由各電力公司作為改善與申請核電廠重啟運轉的重要依據。

日本原規會專責於日本核電廠的安全審查，針對舊基準設定的不足加以檢討，而制定出日本核電廠專屬的新基準，包括強化或新設設計基準、新設恐怖攻擊與重大事故對策等，如圖3所示[2]。

日本核電機組重啟的安全審查流程，包括以下3項審查：1.反應爐設置變更許可，2.工事計畫認可及3.保安規定變更認可，如圖4所示[3]。

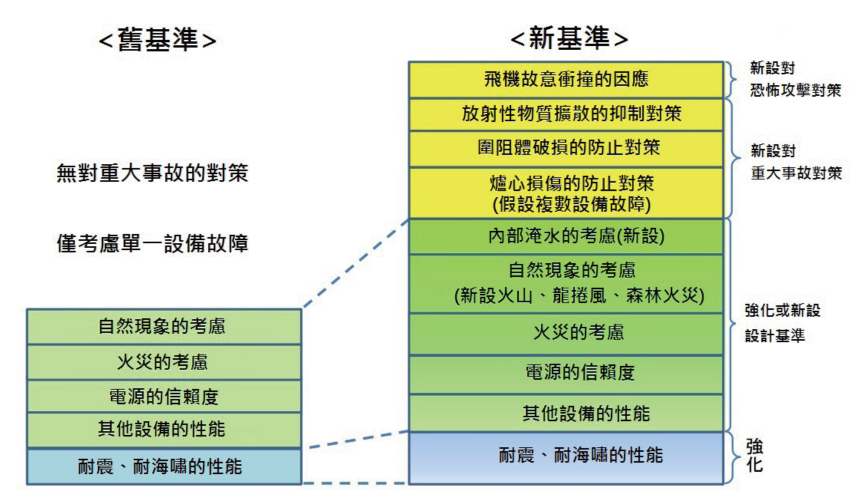


圖 3. 日本核電廠新舊基準的比較 [2]

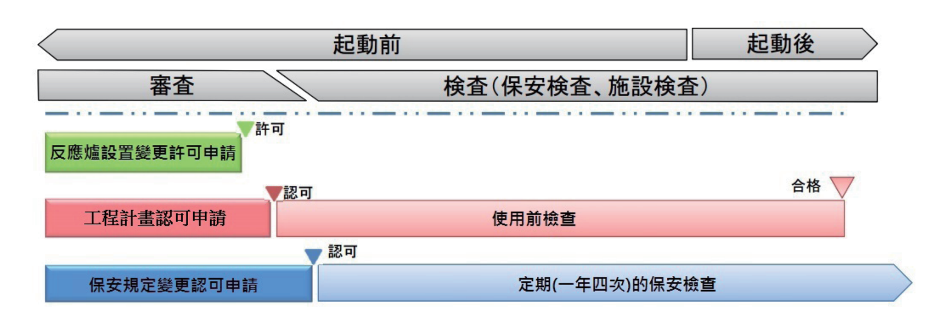


圖 4. 日本新基準的審查流程 [3]

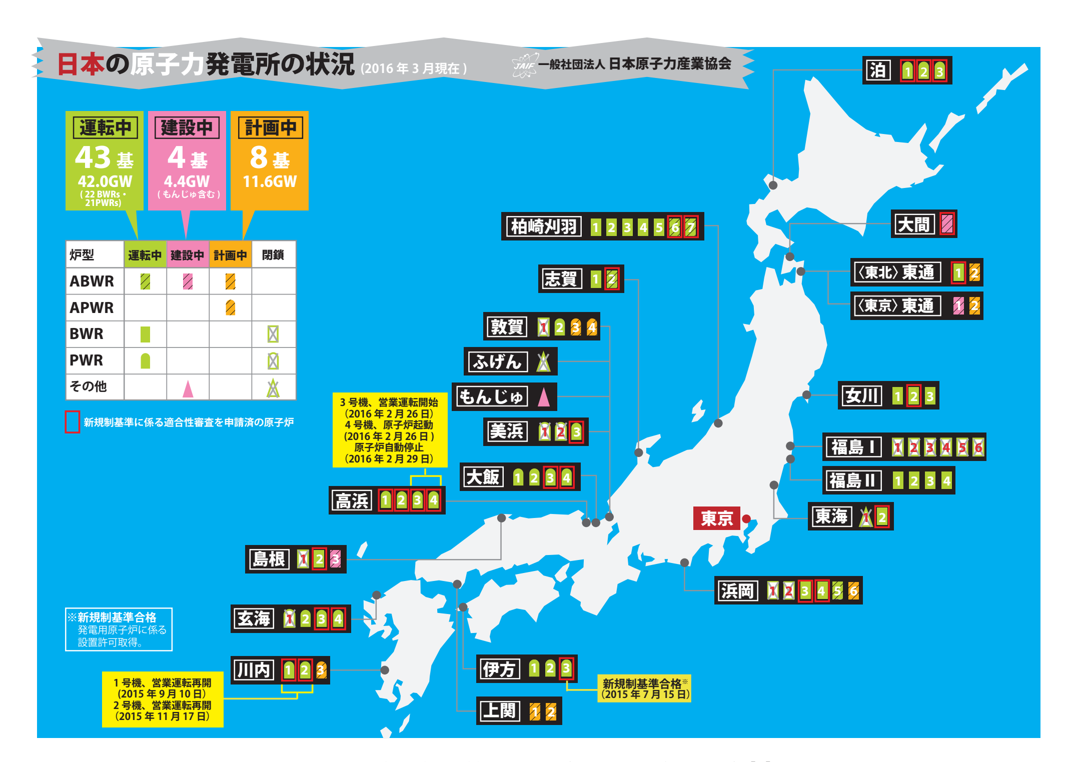


圖 5. 日本的核電機組現況（至 2016 年 3 月）[4]

1.反應爐設置變更許可申請：有關反應爐的基本設計，如耐震、耐海嘯的基準審議，以及系統的變更等。日本原規會許可此項後便可進行啟動的準備。

2.工程計畫認可申請：檢查反應爐設施許可申請書所記載的基本設計是否符合反應爐設施詳細設計的技術基準。於使用前會檢查工程計畫認可書所記載的結構、功能與性能。

3.保安規定變更認可申請：檢查反應爐設施的營運管理、程序、體制等相關事項的保安規定變更，會定期（一年4次）進行檢查。

以上這3項都得到日本原規會許可與當地政府的同意手續便可再啟動（發電機併聯）。

日本核電現況與再啟動審查進度

福島事故前日本有54部核電機組，其中沸水式機組有30部、壓水式機組24部。福島事故後，福島第一核電廠有受損的1-4號機組以及未受損的5、6號機都廢爐，另外還有5部運轉超過40年的核電機組，因考慮安全改善費用過高不符合成本效益，所以也決定廢爐，所以目前有43部機組；此外，正在興建中的核電機組有4部，準備興建的核電機組有8部，如圖5所示[4]。

43部機組中有26部機組、11家電力公司已經提出申請新管制標準的審查，目前日本原規會核定有5部機組通過新基準，分別是川內核電廠1、2號機（九州電力）、高濱核電廠3、4號機（關西電力）

表 1. 川內核電廠再啟動的進度

時 間	進 度
2013/07/08	提出川內 1、2 號機的再啟動申請
2014/09/10	通過川內 1、2 號機的反應爐設置變更許可申請
2015/03/18	通過川內 1 號機的工程計畫認可申請
2015/05/22	通過川內 2 號機的工程計畫認可申請
2015/05/27	通過川內 1、2 號機的保安規定變更認可申請
2015/08/14	川內 1 號機重啟發電，09/10 回復正常運轉
2015/10/21	川內 2 號機重啟發電，11/17 回復正常運轉

表 2. 地方政府同意的對應

時間	地方政府的對應
2014/04	地方政府針對避難計畫舉辦居民說明會、川內核電廠方圓 5km 範圍內發放碘片
2014/09/12	政府於核能防災會議上同意川內核電廠的避難計畫
2014/09/12	經濟產業省幹部出示川內核電廠重啟的地方政府方針給地方政府
2014/10	反應爐設置變更許可申請的審查結果出爐， 由地方政府在核電廠周邊 5 個村市區舉辦居民說明會
2014/10/28	薩摩川內市議會開會後，薩摩川內市市長同意重啟
2014/11/07	鹿兒島縣議會開會後，鹿兒島縣知事同意重啟計畫

、與伊方3號機（四國電力）。至於其他的申請案，日本原規會的審核工作仍持續進行中。

日本九州電力公司簡介

日本九州的面積大小是42,195平方公里，人口數是1,320萬人。九州電力公司是日本第5大的電力公司，員工數有13,148名，在2014年的購電量是813億度電，擁有的電廠有火力10.68百萬瓩（GW）、核能4.7百萬瓩、水力3.58百萬瓩、內燃0.4百萬瓩、地熱0.21百萬瓩、風力0.003百萬瓩、太陽能0.003百萬瓩。

九州電力公司核電廠在2003年到2010年的平均設備利用率為85.04%，而日本全部核電廠在同時期的平均設備利用率是65.51%，這是因為九州電力公司核電廠的設備故障和事件數非常少，除了定期的大修，其餘時間大都是滿載發電，所以設備利用率遠高於全日本平均，可說是日本核電業的模範生。

川內核電廠因應新基準的對應

川內核電廠再啟動的進度，如表1所示，而地方政府在重啟川內核電廠上的對應，如表2所示。

核電廠在準備重啟、安全檢查等作業時，除了核電廠員工，還有製造商、合作廠商等所有電廠相關人員，以「我的電廠」的高度意識下，以安全為優先，徹底實行。也會接受第三者機構的協助及意見，制定緊急時的應對體制。

重啟過程中，會預先設想可能遇到的情況和因應方針，以資訊公開的原則在事前向媒體說明，並且每日公開核電廠重啟的運轉情況。例如在反應爐功率上升時，有遇到蒸汽機冷凝器管洩漏的情況，馬上就公開新聞稿，並在網頁上做出詳細的說明。

如何與民眾溝通並取得支持再啟動的共識

日本安倍政府的支持與重啟核電方針是關鍵，中央政府明訂核電是重要的基載電力來源，並推動日本原規會成立與新基準的誕生，同時也得到地方政府的理解與協助。

九州電力公司總經理親自拜訪周圍8個市町，並向地方首長說明確保安全的決心。根據當地媒體的報導指出：「總經理的說明具有誠意」、「再啟動是不得不接受的」。

與民眾溝通時的方針是「安全、安心」，要袪除不安，讓其安心，面對面的溝通可以塑造雙方信賴的良好關係。所以透過訪問活動、參觀、小規模說明會等與民眾面對面溝通，傾聽民眾對再啟動的不安或疑問，親切地解答，並活用容易理解的資料。

2014年，九州電力公司在訪問活動方面，員工訪問各行政、議會、地方政府與各種團體，累積接觸人數有34,000人；民眾參觀電廠方面，計有12,000人參加；小規模說明會方面，是針對自治或各種團體，累積接觸人數有45,000人。

此外，也積極地與媒體互動，主動向媒體公開資訊；製作網頁，放置安全對策的照片、影片和圖表，一年瀏覽次數有82,000次；祭典廟會時也利用展示架進行說明；展覽館方面，兩個核電廠合計有107,700參觀人次。

九州電力公司的員工在參與民眾溝通、對話的數量持續不斷增加。在地方上，也反覆地進行面對面對話的精進作法，讓民眾對川內核電廠再啟動的議題有深入的理解與認識。坦然接受地方民眾因為福島一廠事故而對核能不安的事實，今後仍將與地方上的民眾維持緊密的溝通，繼續努力建立雙方的信賴關係。

結論

核安文化是防止核子事故的重要一環，早在福島核災前，我國核電廠的核安基準就比日本舊核安基準還更加嚴謹與安全。倘若日本跟我國一樣依照美國核管會的法規與標準來建立核電廠的核安文化，當可避免福島核災的發生！

日本核安新基準的精神，究其實，是為彌補之前與美國核管會法規相較的不足之處。然而，所謂「他山之石，可以攻錯」，日本核安新基準也可供我國參考，以強化我國核電廠的安全。

九州電力公司核電廠在福島核災前的設備故障與事件數非常少，設備利用率也因此遠高於全日本平均值。在福島核災後，九州電力公司也吸取經驗，並全力配合日本原規會的新基準，積極與地方民眾溝通並取得共識，終於讓川內成為日本第一座再啟動的核電廠。其中與民眾溝通及說明的案例值得我國參考。

（本文作者為清華大學工程與系統科學系研究助理）

參考資料：

1.日本長期能源供需對策的委員會的各種發電成本報告 2015年5月
http://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/mitoshi/cost_wg/007/pdf/007_05.pdf
2.日本原子力規制委員會 - 商業發電用核能反應器的新規制基準
http://www.nsr.go.jp/data/000070101.pdf
3.日本原子力規制委員會 -新規制基準的審查流程
http://www.nsr.go.jp/data/000104907.pdf
4.一般社團法人 日本原子力產業協會官網
http://www.jaif.or.jp/cms_admin/wp-content/uploads/2015/07/jp-nuclear-data011.pdf

從台南大地震
看核電廠的「能耐」

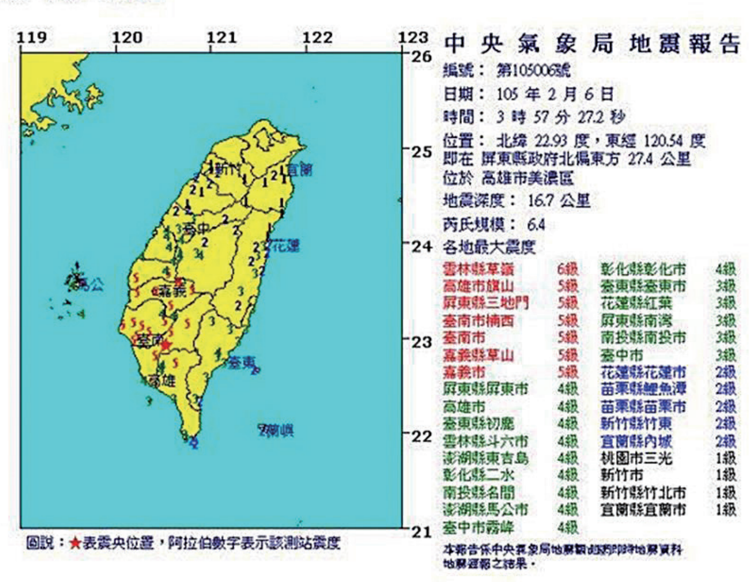
文・編輯室

2月6日農曆小年夜凌晨，當大家都在熟睡之際，高雄美濃發生芮氏規模6.4地震，重大的災情卻出現在台南，主要是因為震波往西北傳遞，加上嘉南地區的地質較鬆軟所致。

此次震災除在台南歸仁區有2人死亡，其餘114名罹難者均於永康區的維冠金龍大樓中，是受災最為嚴重的地方。該次地震是台灣在1999年的921集集大地震後傷亡最嚴重的地震，並造成有史以來最多人因單一建築物倒塌而罹難。全國民眾在救災的新聞畫面中無不傷心悲痛，度過最難熬的一個農曆新年。

氣象局地震測報中心課長林祖慰表示，從地震發生到災害出現，影響有3階段，第一是震源所在地斷層破裂後震波傳遞的方向，其次是路徑，最後是「場址效應」，也就是災害所在地的地質特性。林祖慰說，地震災情也與建築物結構，及地震震波是否與建物產生共震效應有關。





中央氣象局地震報告

編號：第105006號
日期：105 年 2 月 6 日
時間：3 時 57 分 27.2 秒
位置：北緯 22.93 度，東經 120.54 度
即在 屏東縣政府北偏東方 27.4 公里
位於 高雄市美濃區
地震深度：16.7 公里
芮氏規模：6.4
各地最大震度

雲林縣草嶺	6級	彰化縣彰化市	4級
高雄市旗山	5級	臺東縣臺東市	3級
屏東縣三地門	5級	花蓮縣紅葉	3級
臺南市楠西	5級	屏東縣南灣	3級
臺南市	5級	南投縣南投市	3級
嘉義縣草山	5級	臺中市	3級
嘉義市	5級	花蓮縣花蓮市	2級
屏東縣屏東市	4級	苗栗縣鯉魚潭	2級
高雄市	4級	苗栗縣苗栗市	2級
臺東縣初鹿	4級	新竹縣竹東	2級
雲林縣斗六市	4級	宜蘭縣內城	2級
澎湖縣東吉島	4級	桃園市三光	1級
彰化縣二水	4級	新竹市	1級
南投縣名間	4級	新竹縣竹北市	1級
澎湖縣馬公市	4級	宜蘭縣宜蘭市	1級
臺中市霧峰	4級		

本報告係中央氣象局地震觀測網即時地震資料地震速報之結果。

圖 1. 中央氣象局發布台南大地震各地最大震度資訊

台大地質系教授陳宏宇指出，台灣受板塊擠壓，地底一定會蓄積能量，而地震的能量通常會從地表最脆弱的地方釋放。陳宏宇分析，這次美濃地震的震央研判在旗山斷層與小岡山斷層間，而美濃的地質是較堅硬的岩盤，地震能量還不足以讓岩盤發生崩落。但是，當地震能量向外傳遞到屬於鬆軟地質的台南時，能量反而還有擴大作用。

台灣核電廠能耐得住幾級地震？

在震驚傷痛之餘，許多民眾隨即擔憂位在台灣南部的核電廠，在此次台南大地震中是否出現危險？

台灣核電廠耐震能力在設計的時候就已經比一般高樓大廈高出很多，而核電廠與一般房屋的地震設計所採用的法規及計算方式並不相同，經過換算，核一廠耐震能力約為附近的建築物的2.58倍。

台灣核電廠在設計時，已經納入天然災害等考量因素，所以在選擇廠址過程中，地震已列入最重要的考慮條件。特別是日本發生福島事故後，原子能委員會已監督台電公司辦理各核電廠的安全總體檢，包括確認各核電廠的耐震強度。



圖 2. 台南大地震震央與餘震分布概況圖

防震設計值的單位是以g值表示加速度的大小，而中央氣象局所制定的地震震度是以gal為單位，1g等同980gal。我國核電廠比照美國法規，以基盤防震設計值作為建廠基準，由於地震波向上傳播時，經土層會有「土壤放大效應」，因此在基盤的地震加速度小於地面地震加速度。

國內核電廠反應爐廠房均座落於基盤上，因此承受的地震加速度比地面值要小，也就是說耐震值更高。此外，為了確保安全，我國核電廠於921地震後已設置強震自動急停系統，當震度不到基盤防震設計值的一半時，反應爐就會自動急停。

高標、保守的耐震設計

全世界核電廠的地震設計，都必須考慮和審查過去至少2、3百年，在整個區域方圓幾百公里內的地震史，不僅是斷層或是其他可能造成地震的地層結構。甚至在附近區域裡，不明原因的地震，例如盲斷層，都要考慮。從過去的地震以及區域內的地層結構，保守的訂出可能發生對核電廠產生最大影響的地震。

依據這個對核電廠有最大影響的地震的震源，再保守的估算出當這個最大地震發生時，在核電廠廠址岩盤的地震加速度。然後，經過土壤與結構物的交互作用計算，估算在廠房地基處的地震加速度。這個地震加速度，就是這座核電廠的地震設計基準（Design Basis Earthquake），又稱為安全停機地震（Safe Shutdown Earthquake, SSE）。

依據地震設計基準，結構工程師再以廠

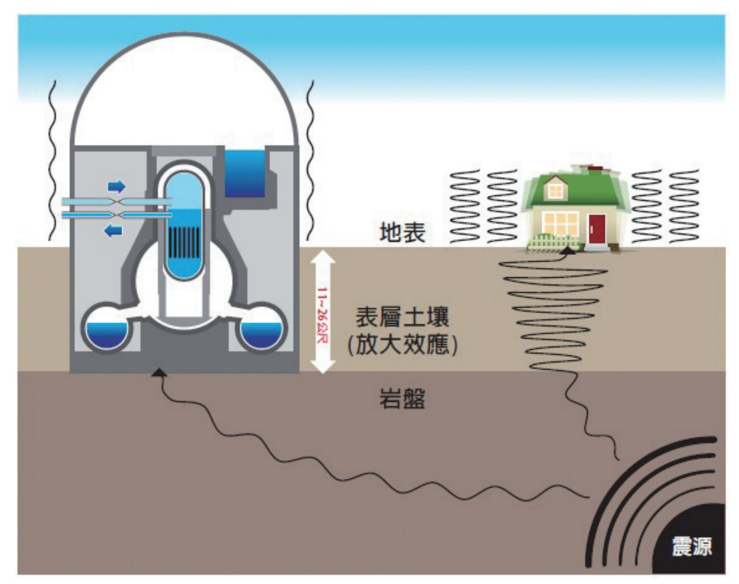


圖 3. 台灣核電廠廠房基礎座落在堅實的岩盤上，可有效減少發生地震時受到的衝擊

房的電腦模型，計算廠房各個樓層的受力大小，作為廠房及設備的設計。所有的這些地震和結構計算，包括從地震的震源到廠址岩盤，從廠址岩盤到廠房地基，從廠房地基到廠房樓層，都非常的保守。

• 座落堅固岩盤，相對安全

為降低地震對核電廠的影響，核電廠反應爐廠房都是從地表深挖11公尺至26公尺不等，座落在岩盤上。由於岩盤堅硬且強度高，不會發生沉陷或土壤液化的情形，也不會有震波放大效應，可保護廠房的結構。

• 即使結構性裂縫也不允許，核電廠耐震能力遠高於一般建築物

內政部營建署訂有「建築物耐震設計規範」，要求一般建築物在地震下即使嚴重破壞與變形，也不應倒塌，以保護人民生命安全。然而，核電廠的耐震設計思考，是以「安全停機地震值」作為核電廠耐震設計基準。在此震度下，廠房不但不能倒塌，甚至連出現結構性裂縫、變形也不被允許，以確保核反應爐能夠安全停機。

根據最新「建築物耐震設計規範」，以核一廠附近為例，當地一般建築物耐震設計值需達0.28g。如果遭遇地震，一般建築物在震度達達到0.28g時，結構將嚴重破壞。而核一廠的「安全停機地震值」為0.3g，表示即使在0.3g的晃動下，核一廠建物不僅不會有裂縫，連裡面的設備及管路也全都完好，耐震能力遠高於一般建築物約3倍。

• 自動急停， 2秒內就安全停機

面對不可測的天災，台灣核電廠還增設了自動急停裝置，當反應爐遭遇地震時，只要感應到0.1g以上的晃動，控制棒就會在2秒內迅速插入爐心、吸收中子，停止核分裂，中止連鎖反應，使反應爐安全停機。也就是說，當較大規模震動到達之前，核電廠就已經安全停機了，並進行後續的安全防範行動。

日本311大地震，福島電廠的結構並未受損，但是地震引發的海嘯卻造成後續核能危機。因此台電公司已經全面體檢各核電廠，進行檢討與改善，並依需要提升防震強

我國核電廠耐震設計值

廠別	基盤防震設計值	強震自動急停	廠房一樓耐震值
核一廠	0.30g	0.10g	0.51 g (499 gal)
核二廠	0.40g	0.15g	0.53 g (519 gal)
核三廠	0.40g	0.15g	0.51 g (499 gal)
核四廠 (龍門廠)	0.40g	0.15g	0.66 g (647 gal)

地震強度分級

震度	名稱	加速度(gal)	地震狀況
4級	中震	25~80	房屋搖動甚烈，底座不穩物品傾倒，較重家具移動，可能有輕微災害。
5級	強震	80~250	部分牆壁產生裂痕，重家具可能翻倒。
6級	烈震	250~400	部分建築物受損，重家具翻倒，門窗扭曲變形。
7級	劇震	400以上	部分建築物受損嚴重或倒塌，幾乎所有家具都大幅移位或摔落地面。

資料來源：台電公司

度，務必確保核能安全。

核電廠耐震與防震的安全

台灣的核電廠均依照核能法規進行嚴密的選址與調查，並以美國核能管制委員會所頒定的準則，參照台灣地震歷史資料，挑出最適合的地方建廠。

在設計核電廠時，台電公司已考量廠址特定地質條件，開挖至堅實的岩盤，將廠房建構在岩盤上，以減少地震危害；另針對經濟部中央地質調查所公告山腳斷層（民國96年7月）及恆春斷層（民國98年12月）等新事證，台電公司表示，已委託國立中央大學進行初步評估，結果認為核電廠仍符合原設計耐震安全範圍內；未來將根據後續海陸域地質調查結果，評估地震危害及補強需要。

註1：gal是加速度的單位，1 gal = 1 cm / sec2。980 gal 約等於一個重力加速度（1g）

註2：耐震強度0.3g約略等同氣象局公布的6級地震、0.4g約略等同於7級地震（氣象局的最大震度），但氣象局公布的強度為地表，核電廠的耐震設計值是以地底基盤為設計考量。

參考資料：

1.2016/02/06中央通訊社，地震震央在美濃卻重創台南 專家這麼說，http://www.cna.com.tw/news/firstnews/201602060304-1.aspx

2.核能安全/台灣的核電廠可以抵抗幾級地震，經濟部， http://anuclear-safety.twenergy.org.tw/Faq/faq_more?id=43

3.核電廠的耐震設計知多少，林超 撰，http://www.nicenter.org.tw/modules/news/article.php?storyid=237

4.福島事件後台電因應作為/防地震，台電公司，http://wapp4.taipower.com.tw/nsis/4/4_3.php?firstid=4&secondid=3&thirdid=5

中國十三五計畫擴大核能建設
——製造業是強國戰略之本

文・窪田秀雄　譯・朱鐵吉

2030年目標 1億5千萬瓩

去（2015）年初，當中國在慶祝核工業創建60周年時，就已席捲全球的核電市場，至去年11月底前已有27座核電機組，共2,600萬瓩發電能力，占總發電量的3%。目前正在建設中的機組有24座，發電容量約2,700萬瓩。中國政府預計2020年的核電裝置容量將達5,800萬瓩，也期望屆時正在建設的核電機組規模能達3,000萬瓩，可見中國在擴展核電方面的雄心。

中國從2016年開始推動「第13次5年計畫（簡稱十三五計畫）」，在日本福島事故後內陸核電廠的建設計畫均遭凍結，至今年才解禁，允許建設內陸的核電廠。內陸10個省、共31個廠址的初期建設可行性研究報告也已完成。

中國核電建設（包括內陸），今後每年將有6-8座機組完工並開始商轉，同時每年亦有6-8座機組開工建設，2030年的商轉裝置容量目標為1億2,000萬瓩至1億5,000萬瓩。要達成這個目標，以一座機組100萬瓩容量計算，今後15年間需要100座反應爐才可因應。

上海電氣、東方電氣、哈爾濱電氣和中國第一重型機械，都屬中國核工業的重點公司，為消化大量的核電計畫，核電機組、零件的製造力必須達到每年可供應10-15座機組。

此外，建設完工後也將面臨運轉體制的問題，中國核電廠每個機組運轉人員的編制為1班4名、分6班輪替來運轉核電廠，4名當中有一名是值班長，在中國被稱為「黃金人」。培養一名值班長需耗時12年，經費約是3,000萬日圓（約1,000萬新台幣），單就此點來計算，100座機組需要600名值班長，加上運轉員共計2,400名，能否確保工作人員的素質實為重要的課題。

中國科學院何祚庥院士很不客氣的說到，「在開發的過程中絕對不可忽略安全的重要性。2020年的5,800萬瓩，以及之後的1億2千萬瓩甚至2億瓩，並不是說一說而已。」因為在生產、技術、進度、品質、人力等方面所產生的各種問題，都會影響到整個核電產業的素質。

高速鐵路與反應爐的輸出策略

中國核電產業已成為全世界注目的焦點，習近平政權強力推動的「一帶一路（新絲路）」策略中的2大支柱，就是高鐵與核電的輸出，擴大與陸上及海上沿岸國家的經貿關係，參與各國未來的建設計畫，以建立中國在世界上的影響力。

截至2014年底，中國高速鐵路（時速達

200公里以上）的營業里程為1萬9千公里，計畫在2020年時增加至2萬2千公里，日本新幹線2014年底時的營業里程只有約3,300公里而已。由此可見高鐵和核電在中國國內的規模之龐大，將以相同的目標向全球市場挑戰。

一帶一路策略中，亦將勞動密集的產業往附加價值高的產業移動，將實行方針設定為「製造強國」。中國國務院於2015年5月公布「中國製造2025」計畫，訂定中國產業今後10年間的行動綱領，包括核電設備的製造水準亦要向上提升。「中國製造2025」中核工業的相關內容為：(1)自主革新和實施產業化，構築獨立的產業體系，並需符合國際間最高的安全性和先進性。(2)握有獨立的智慧財產權，如「華龍一號（出口國外的名稱為HPR1000）」和「CAP1400」等，建立較大規模的輸出能力。(3)以華龍一號、CAP1400、高溫氣體反應爐、鈉冷卻高速反應爐以及釷熔鹽反應爐為重點，加強發展。

2020年境外將有6-8座中國製機組

中國國務院總理李克強在2015年1月的「核工業創建60周年」時說到，「向海外輸出核電機組，可將中國打造成一個『核電強國』。」中國國家能源局預計，至2020年時，境外將有6-8座的「中國製」反應爐開工建造。以中國最近的行動來看，這個說法並不誇張。

在介紹核能發電的整體行動方針之前，先大略說明一下中國核能產業的體制。主導中國核能產業的不只上海電氣和東方電氣等核電機組建設公司，還有屬於中國三大國有核電企業的中國核工業集團公司（中核集團）、中國廣核電力股份有限公司（中廣核集團），以及中國國家電力投資集團公司（國家電投）。國家電投是在2015年7月，統合中國電力投資集團公司和國家核電技術公司後成立。這三大公司旗下均設有研究所和設計院，還有核電廠以及核燃料循環等相關產業，且營運策略的重點都放在反應爐建設，以100萬瓩的壓水式反應爐（PWR）為主。國家電投以美國西屋公司的「AP1000」型為基礎，研發出改良型「CAP1400（140萬瓩壓水式反應爐）」；中核集團與中廣核集團則共同研發出「華龍一號」。此外，中國知名核電建設企業之一的中國核工業建設集團，則在國內外推廣高溫氣冷式反應爐（HTGR）。

各核電業者向來均有自己的出口策略，中國國家能源局於2013年10月公布的《服務核電企業科學發展協調工作機制實施方案》中提到的核電出口策略有：(1)將核電出口至考慮使用核電的國家，以雙方政治與經濟的交流為主要考量，(2)強化核電出口組織，(3)支持企業以國家銀行貸款的方式參與國際計畫，(4)成立服務核電企業協調工作小組等。中核集團、國家電投和中廣核集團更在2014年1月，共同成立「中國核能發電技術設備輸出產業聯盟」。

總之，中國核電出口企業之間的關係已非常緊密。習近平和李克強至他國訪問時，中國核能相關行業人員必定隨行，各國首長來訪時亦會談到核電輸出的議題。

中廣核在英國核電廠 將採用華龍一號

中國在2015年的核電版圖擴張中，最受注目的應該是向世界核能先進國家—英國出口反應爐。

中廣核集團董事長賀禹與法國電力公司（EDF）執行長列維（Jean-Bernard Levy）於2015年10月21日，在習近平與法國首相的見證下，共同簽署「英國核電項目投資協議」，將共同出資建造欣克利角C（Hinkley Point C）、塞斯威爾C（Sizewell C）、布拉德威爾B（Bradwell B）核電廠，其中布拉德威爾B核

電廠已決定採用「華龍一號」。中廣核集團與EDF因此成立合作公司並設立法規制度，包括設計審查內容以及取得認證等。為了讓在英國的核能機組計畫得以順利進行，中廣核集團於2015年10月19日成立了「通用核能國際有限公司」。

2015年10月21日，中國國家能源局與英國能源與氣候變遷部門共同發表「中英2015民用核能領域合作聲明」，將促進兩國企業在中、英和其他第三國開拓合作機會以及人才培育計畫。中廣核集團為了將「華龍一號」推廣至歐洲，必須向歐洲核電用戶組織（EUR）提出認證申請，證明其符合歐洲15家大型電力公司的運轉經驗及管理法規要求，中國核電技術才可正式走進英國。

另外，中核集團也於2015年10月19日宣布，將與英國國家核能實驗室（NNL）共同設立核能研究及創新中心。

英國海上風險管理機構—勞氏船級社（Lloyd's Register）旗下的能源部門，對中國核動力研究設計院開發的「漂浮式核電廠」的研發，也展開全力支援，雙方並於2015年10月20日簽屬協議，勞氏船級社將對中國漂浮式核電廠的核能安全管制與安全指南，以及核能法規、基準的制定提供援助。以漂浮式小型反應爐「ACP100S」方向研發的中國核動力研究設計院亦隸屬於中核集團。

中核集團在阿根廷的華龍一號計畫

2015年2月14日，習近平與阿根廷前總統費南德茲（Cristina Fernandez）為強化雙方核電產業的合作，簽署兩份備忘錄，中國將協助阿根廷建設壓水式以及重水式反應爐核電廠。

為了向阿根廷出口核電機組，中核集團與阿根廷電力公司於2015年11月15日，在G20集團領導人第10次峰會期間，在土耳其簽下「重水式與壓水式反應爐核電廠」的合約，一部為運轉中的75萬瓩重水反應爐，以及建設中的100萬瓩壓水式反應爐，就是「華龍一號」機型。

整個計畫的總投資額預計高達150億美金，阿根廷經濟財政部表示，這項資金的調度約85%由中國負責，年利率6.5%，為期18年，機器與設備由阿根廷國內供應，其他則由中國進口。

英國與阿根廷是在大西洋兩端的國家。中廣核和中核集團代表著中國核電企業為其建設「華龍一號」，這對中國核電產業具有重大的意義。為了出口核電，中廣核集團與中核集團互相出資一半，成立「華龍國際核電技術有限公司」，為建立專業團隊而積極協商。華龍總公司已於今年3月成立，未來將積極爭取海外核電計畫。

提供羅馬尼亞核電技術服務

中廣核集團於2015年11月9日，趁著與英國合作之勢，也和羅馬尼亞簽署核電開發備忘錄，內容包含切爾納沃德（Cernavoda）電廠3、4號機的開發、建設、營運以及除役措施等計畫，中廣核集團亦和羅馬尼亞國營核電公司合作，成立相關公司，以利整個計畫的實施。

切爾納沃德核電廠1、2號機是採用加拿大的CANDU重水反應爐，目前均運轉中。3、4號機將參照2號機的建設，都是72萬瓩的重水反應爐，施工時間預計88個月，總投資額為72億歐元。

中廣核負責的切爾納沃德3、4號機擴建計畫，提供的技術服務包括建設、運轉、除役措施等。為加速海外的進出，中廣核繼英國之後，也在羅馬尼亞設置出口核電的據點，力求在歐洲市場站穩腳步。假如羅馬尼亞提出新增核電機組計畫的話，中廣核的「

華龍一號」無疑是最有利的選擇。

與法國共同執行再處理計畫

中國與法國在核工界來往相當密切，2015年5月15日李克強與法國外務及國際開發部長共同會晤，雙方未來將互相協助，開拓全球核電市場。此外，法國亦表明對兩國太空、航空、醫療衛生、農業以及食品等方面互相協助的意願。

中法兩國政府於2015年6月30日會晤結束後簽署《民用核能合作聯合聲明》，將全面擴大兩國間的核能產業交流，並互相協助，設計出兼具安全與競爭力的第三代新型反應爐，共同建設核電廠。中核集團亦於2015年9月23日宣布，與法國合作的核燃料循環計畫預計將在2020年開工，2030年完成建設。中核集團表示，該計畫將由亞瑞華公司負責提供技術，中核集團負責工程，設施占地3平方公里，以國家特別計畫資金投資，總投資額達到1,000億人民幣。

除了800公噸用過核燃料再處理工廠外，還有貯存能力達3,000公噸的用過核燃料貯存場，以及高放射性廢液玻璃固化設施。核燃料循環設施的地點尚未選定，山東、江蘇、浙江、福建及甘肅均為候選場址。2015年11月2日中核集團與亞瑞華簽署的《資產與產業合作諒解備忘錄》，更加強化雙方互助的關係，中核集團已與亞瑞華達成協議，將出資協助中國核燃料循環產業，包括鈾燃料再循環和除役等主要內容。

2014年12月31日，中核集團、亞瑞華、三菱重工3家公司對核能發電技術以及協助開拓市場交換意見。中核集團與法國EDF之間又簽署了《中法國家聯合聲明實施計畫》，期望能互相幫助，強化中型與大型反應爐在全球的市場，共同構築國際核能供應鏈以及物流平台，進行核電廠安全運轉、保安以及工程技術的研究開發工作。

美中更新核能協定 更趨蜜月期

隨著西屋公司「AP1000」技術的轉移，使得中國和美國在雙方核能交流的關係更加緊密。1985年生效至2015年為止的《美中和平利用核能合作協定》的更新，於11月上旬漸趨明朗化。美國新世代反應爐開發的企業公司代表訪問中國，和李克強及國家能源局長會晤，並在中核集團與中國工程院主辦的報告會中演講，與會者包括微軟公司的創辦人——比爾蓋茲。李克強表示，與美國共同研究開發，可提高中國核能發電產業的水準，將全力支援美國，共同開拓核能市場。對此比爾蓋茲強調，兩國企業在相互合作下可加速技術的革新與產業的改革。

2015年9月22日，現為泰拉能源公司（Terra Power）董事長的比爾蓋茲，在美國華盛頓州西雅圖市與中核集團針對下一代反應爐一行波反應爐（TWR）的共同開發，簽署了備忘錄。

現今的日本

日本國內目前沒有任何新建核電機組的計畫，中國已逐漸掌握全球核能產業的主導權，而重啟核電仍未完全明朗的日本，和中國所採取的行動相距越來越遠。日本在這方面與中國的做法背道而馳，日本前任首相甚至還推行反核運動，真的非常可惜。

資料來源：
窪田秀雄, "中国, 第13次5カ年計画でも原子力拡大へ", Energy Review, February 2016, p.38-41

龍門核電廠建廠管制報導

文‧編輯室

1月7日原能會函復台電公司「龍門核能發電廠1號機圍阻體施工報告」及辦理情形說明的審查意見，由於台電公司已補齊業主（核能技術處）審查核准文件，以及相關審查核准作業依據程序書，因此同意該報告的備查申請。

1月8日原能會函復台電公司龍門核電廠核管案件編號 LM-JLD-10103（Rev.10）審查彙總表〔案名：地震、海嘯危害模擬及情境模擬（事件及境況模擬的規劃評估）〕的審查意見，請台電公司補充說明主變壓器間防火區劃水泥牆，如何具有阻擋海嘯侵襲的結構強度，而具有保護主變壓器的功能；同時重申井下地震儀設置完成時間，仍須符合初次核燃料裝填前完成設置的要求。

1月13日原能會函送注意改進事項編號AN-LM-104-004-3予台電公司，要求補充藉由維持反應爐內部空調冷氣濕度值小於60%，亦能使相連通的C12管路系統內部濕度保持在70%以下的具體佐證資料。

1月21日原能會函送台電公司申請以「一號機爐心隔離冷卻系統封存作業指引」（ME-019） 做為2E51-TRB-0001 Mitre Valve移用至一號機後的特別維護保養計畫之審查意見，要求台電公司補充特殊維護管制計畫所應有的內容（如：一般測試、特別測試、頻次變更、額外監控的參數及參數趨勢分析等）及相關評估資料後再提送原能會。

1月27日原能會函送龍門電廠注意改進事項編號AN-LM-104-13-0及AN-LM-104-14-0予台電公司，本案是龍門計畫第61次定期視察「封存品保方案業主品保（稽查）作業查證」及「2號機施工清點作業規劃之查證作業」視察項目發現，要求台電公司檢討改善。

1月28日原能會函送注意改進事項AN-LM-102-012-2台電公司答覆說明的審查意見，要求台電公司補充2號機原設備被移用後的處置方式，以及龍門施工處相應的管制機制及要求後再提送原能會。

2月1日原能會函送注意改進事項AN-LM-104-15，針對龍門電廠興建期間業主監查作業辦理的相關視察發現，要求台電公司檢討改善。

2月16日原能會函送視察備忘錄編號LM-會核-104-10-4予台電公司，要求台電公司再檢視龍門電廠EI-005「初始測試及封存期間電廠設計修改申請管制」工作指引的適切性，以符合封存計畫的規定。

英國用過核燃料再處理設施現況

文・編輯室

核反應爐提供我們便宜、穩定的電力，但發電後所產生的廢棄物，因受到放射性汙染無法隨便丟棄，必須尋找合適的地方來做永久性處置，以防止這些廢棄物的放射性物質對環境或人體造成任何傷害。

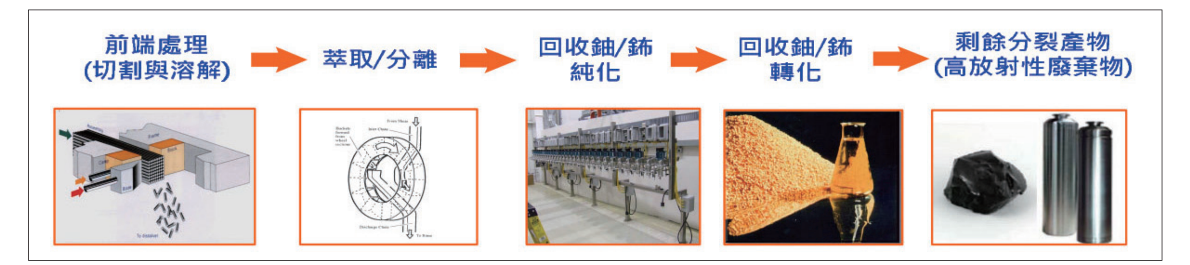
電廠或醫療研究單位棄用的工作服、器具與工具等，屬於低放射性的廢棄物，在經過適當的減容與包裝後，確保其中所含的放射性物質無法釋出，即可放入廢棄物貯存庫內暫存，或移入最終處置場做永久處置。

而用過核燃料因放射性極高，離開反應爐後必須先在用過核燃料池中冷卻數十年才可移入最終處置場；但因用過核燃料中仍有將近96%的鈾可透過「再處理技術」來回收再使用，不僅可減少用過核燃料的體積，還可降低其放射性活度，有些國家因此選擇使用「再處理」的方式來處理用過核燃料，英國就是其中之一。身為現今全球唯一擁有兩座用過核燃料再處理廠的國家，除了可再處理境內生產的用過核燃料之外，還可替別的國家提供服務。

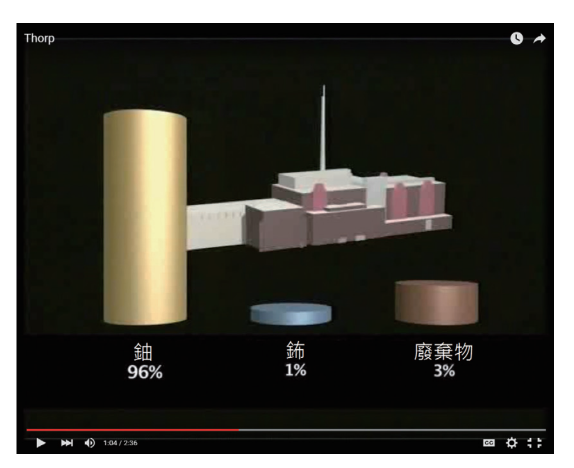
「再處理技術」就是使用化學方法來將用過核燃料中的鈽與鈾分離，再做回收的動作。目前國際商用再處理廠使用的技術以「溼式化學分離程序PUREX（Plutonium and Uranium Recovery

全球現有用過核燃料再處理廠容量（單位：噸／年，均為大約值）		
輕水式反應爐用過核燃料	法國，拉阿格（La Hague）	1,700
	英國，賽拉斐爾德（Thorp）	900
	俄羅斯，Ozersk（Mayak）	400
	日本（六所村）	800*
其他種用過核燃料	英國，賽拉斐爾德（Magnox）	1,500
	印度（PHWR）	330
	日本，東海 MOX	40

＊預計於今（2016）年開始營運



▲ 再處理作業流程圖（圖片來源：行政院原子能委員會）



▲ 用過核燃料中有近 96%的鈾與 1%的鈽可以回收再使用（圖片來源：Sellafield Ltd）



▲英國賽拉斐爾德廠址（圖片來源：Sellafield Ltd）

by EXtraction）」，或稱「鈽鈾萃取回收法」，即指將用過核燃料切成小塊狀，將鈽與鈾自強酸性溶液中萃取出來（可回收的鈽與鈾分別占0.9%與95.6%），與無使用價值的分裂產物分離，分離出來的鈽與鈾可以再製造成新的核燃料，分裂產物則以玻璃固化技術密封於密封桶中，屬於高放射性廢棄物。

賽拉斐爾德（Sellafield）

位於英國中部的賽拉斐爾德（Sellafield）廠址，占地約400公頃，為歐洲最大的核子設施廠址，除了座落著兩座已永久停機的核電廠（目前均進行除役作業中，其中一座為全球首座商用反應爐）與一系列約200座的核子相關設施之外，還有兩座用過核燃料再處理廠，分別為Magnox再處理廠與Thorp再處理廠，以及一座氧化核燃料（Mixed Oxide Fuel，MOX）製造廠，這3座核子設施也是賽拉斐爾德僅存商轉中的主要核子設施。

賽拉斐爾德廠址最初由英國核燃料公司（British Nuclear Fuels Limited）所擁有，目前則轉至英國核子除役

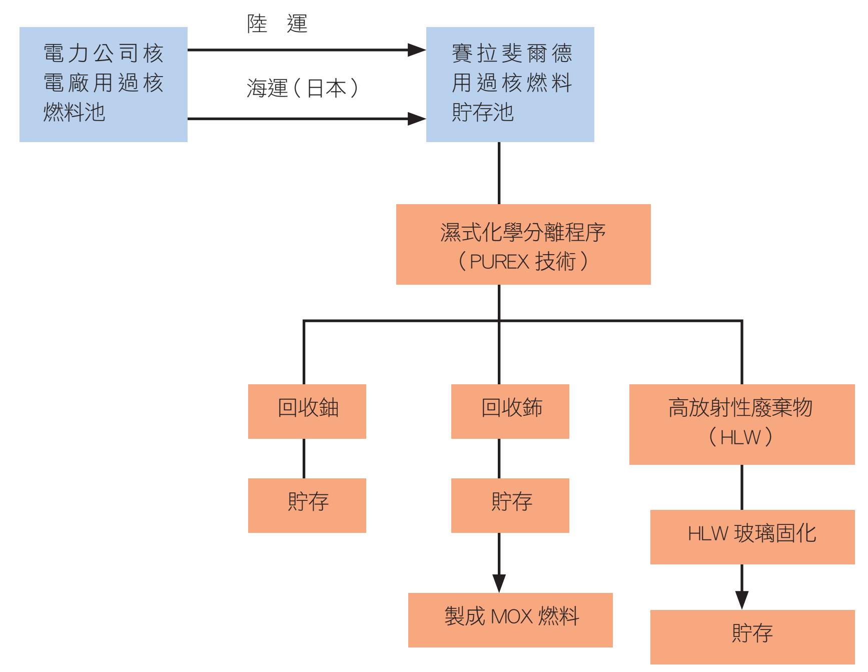
管理局（Nuclear Decommissioning Authority，NDA）旗下，由賽拉斐爾德有限公司持照營運，並藉由再處理獲得的收益來分擔各核子設施除役所需的費用。

賽拉斐爾德內的Magnox再處理廠，主要用來處理英國早期的反應爐—鋁鎂鈹反應爐（Magnox Reactor，又稱鎂諾克斯合金反應爐）與輕水式反應爐（Light Water Reactor）所生產的金屬型核燃料；而Thorp再處理廠（Thermal Oxide Reprocessing Plant，又稱熱氧化再處理廠）則用來處理英國進步型氣冷式反應爐（Advanced Gas-Cooled Reactor）以及其他境外國家核電廠所產生的氧化物型用過核燃料。

鎂諾克斯（Magnox）再處理廠

Magnox再處理廠自1964年開始運轉，在不間斷的改良以及更新下已成為一座設備非常完整的再處理廠，除了再處理設施本身之外，還擁有一座占地超過2公頃、用來收集與貯存用過核燃料的燃料處理廠、一座可將固體中放射性廢棄物壓縮並裝罐的封裝廠，以及一座中放射性廢棄物貯存桶倉（已於2000年貯滿）。

Magnox再處理廠至今已運轉超過50年，每年可處理約1,500噸由英國鋁鎂鈹反應爐所產生的用過核燃料。由於英國共26座的鋁鎂鈹反應爐均建於1960年前後，NDA自2005年即開始著手所有鋁鎂鈹反應爐的除役相關事項，也於2015年12月底關閉最後一座、也是規模最大的鋁鎂鈹反應爐。隨著英國的鋁鎂鈹反應爐邁入歷史，Magnox再處理設施也預計在2017年停止運轉，封裝廠則預計在2021年結束營



▲英國賽拉斐爾德再處理設施運轉流程



▲ Magnox 再處理廠（圖片來源：Sellafield Ltd）

運。

身為英國第一代核電機組的鋁鎂鈹反應爐，以外罩鎂合金護套的天然鈾作為燃料而聞名，但也因如此，以水冷卻鋁鎂鈹反應爐的用過核燃料時，金屬護套會因為化學作用而遭到腐蝕，導致鋁鎂鈹反應爐的用過核燃料無法長期貯存，必須盡速對其採取再處理。

而在進行再處理作業前，自反應爐移出的用過核燃料必須在冷卻池內存放至少180天，讓壽命較短的分裂產物自行衰變，再來便可運送至Magnox再處理廠中的一座燃料處理設施將鎂合金護套拆除，之後再將護套內的用過核燃料轉移至再處理設施，來進行再處理的環節。拆除下來的鎂合金元件等中放射性廢棄物則轉移至Magnox再處理廠內的專門桶倉貯存，但該座桶倉已於2000年貯滿。

鋁鎂鈹反應爐燃料的再處理過程，是將受過輻射照射的燃料棒浸泡在硝酸中溶解，然後經由一系列的萃取過程，將鈾、鈽以及分裂產物分離成三條支流，再將這三條支流分別導向賽拉斐爾德內不同的廠



▲鋁鎂鈹反應爐的金屬核燃料元件（圖片來源：Sellafield Ltd）



▲第一代的鎂諾克斯核燃料貯存池（圖片來源：Sellafield Ltd）

區作不同的處理：將鈾的支流（硝酸鈾型態）轉換成固態的三氧化鈾（UO_3）後裝桶貯存；鈽的支流（硝酸鈽型態）轉換成固態二氧化鈽（PuO_2）後裝罐貯存；分裂產物的支流（硝酸液體型態）則先貯存在高活性的貯存槽內，再對其進行玻璃固化後貯存。

由於Magnox再處理廠為英國唯一可以回收鋁鎂鈹反應爐核燃料的再處理設施，單就這點而論就可看出Magnox再處理廠在英國核工業界的重要性。除了用過核燃料的拆卸以及再處理之外，Magnox再處理廠還負責了所有鋁鎂鈹反應爐的除役作業，自停役的鋁鎂鈹反應爐上拆卸下來、受放射性汙染的機組零件與其他原料也一同存放於此。經再處理分離出來、目前暫存在該廠的氧化鈾則預計在2017年移至英國核燃料公司旗下的卡本赫斯特（Carpenhurst）鈾濃縮廠貯存。

索普（Thorp）再處理廠

而位於賽拉斐爾德的另外一座再處理廠—Thorp，則是將所有用來再處理氧化核燃料（Oxide Fuels）的設施集中在一起的一座熱氧化再處理廠。於1994年開始試運轉的Thorp，一年可處理約900噸的用過核燃料，專門處理英國的第二代反應爐—氣冷式反應爐所生產的用過核燃料。

除了回收英國境內二代反應爐的用過核燃料之外，Thorp也替日本、德國、瑞士、義大利、比利時等其他國家再處理輕水式反應爐（壓水式與沸水式兩種反應爐）的用過核燃料，目前已運送了超過1,200噸的鈾並完成再處理作業，避免超過1,400萬噸的二氧化碳排放至大氣中。

Thorp再處理的過程主要分為3大部分：

1. 用過核燃料的接收、拆除護箱與貯存
2. 用過核燃料的裁切與溶解
3. 溶解後的鈾、鈽與其他廢棄物的分離

運送至賽拉斐爾德的用過核燃料必須裝在符合國際原子能總署（IAEA）標準的運輸護箱內，確保即使在嚴重事故下仍不


▲ Thorp 再處理廠（圖片來源：Sellafield Ltd）

會釋放任何放射性物質，再以鐵路（境外國家則結合海運）運送至賽拉斐爾德。抵達賽拉斐爾德的用過核燃料，必須先在水中將核燃料自運輸護箱中移出，貯存在儲存池內進行冷卻，冷卻足夠後才可開始再處理的程序。

完成冷卻後的用過核燃料束會先送至廠內的一座頭端接收設施，將燃料裁切成小塊狀，再將燃料塊放入充滿硝酸的容器中溶解，以導管將剝除的外層燃料套濾出。溶解出來的燃料液體則轉移至Thorp再處理廠內的化學分離設施，使用溶劑萃取將96%的鈾與1%的鈽，以及剩下3%的廢棄物分離出來。分離出來的廢棄物會被送至一座高放廢棄物廠，將其濃縮、貯存，最後進行玻璃固化，而分離出來的鈾與鈽則會被轉換成氧化物粉末後再貯存。

如上述所提，用過核燃料中共有將近97%的成分屬於可回收的鈾與鈽，自賽拉斐爾德再處理設施分離出來的鈾、鈽分別貯存在廠內專門的處置庫。回收鈾以三氧化鈾粉末的型態裝入50公升的容器中貯存，每桶約可裝200公斤的鈾。

根據英國政府規定，來自境外的用過核燃料所分離出來的鈽必須運送回原國家，至於由英國境內核燃料所分離出來的鈾，目前NDA還未對這些回收鈾的去向做出決定，但已知可能的方案有3種，分別為製成新燃料、長期貯存，或視為廢棄物並運送至高放射性廢棄物深層地質處置場做最終處置。

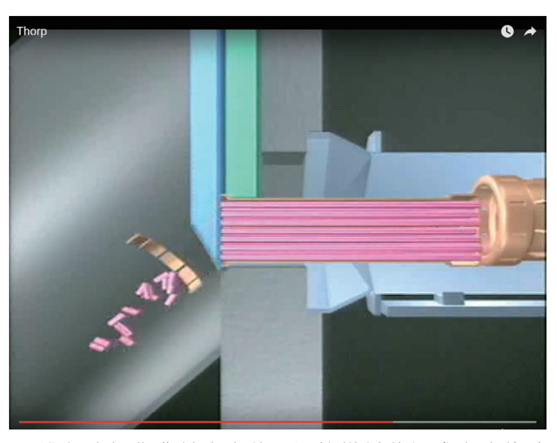
回收鈽則以二氧化鈽粉末的型態裝入由3層不銹鋼製成的罐裝容器中，每罐約可盛裝6-7公斤的固體二氧化鈽，裝罐後會先存放在賽拉斐爾德廠內專門存放鈽的貯存



▲ 運送至燃料貯存池進行冷卻的用過核燃料（圖片來源：Sellafield Ltd）



▲ 用過核燃料外層的護箱在燃料抵達 Thorp 再處理廠後會立即拆除（圖片來源：Sellafield Ltd）



▲ 進行溶解作業前會先將用過核燃料裁切成小塊狀（圖片來源：Sellafield Ltd）

庫，之後再運送至MOX燃料製造廠，重新再製成核燃料供可使用MOX燃料發電的核電廠使用。

混合氧化核燃料（MOX）

MOX燃料是由氧化鈾與氧化鈽所組成，氧化鈾來源較廣泛，可以是天然鈾、再處理鈾或著貧鈾；氧化鈽則是從反應爐燃燒鈾燃料的過程中所產生。早期生產鈽主要是為了軍事目的，但隨著原子能和平利用的推廣與IAEA嚴格的監控下，現今大多數國家均單純使用在反應爐發電方面。因此，英國政府相信，自用過核燃料中分離出來的鈽的最有效利用方式，就是將其再製造成燃料供反應爐使用。目前用於反應爐發電的MOX燃料，鈾與鈽的比例為93%比7%，因在反應爐中有與低濃縮鈾相似的作用，而被視為其中一種低濃縮鈾的替代品。（註：MOX燃料的鈽濃度不足以發展軍事用途）

但是，並非所有反應爐都可使用MOX燃料，因為使用MOX燃料會改變整個反應爐的工作個性，通常只會有1/3的燃料可以用MOX燃料替換，因此，核電廠必須重新設計或調整才可使用MOX燃料，也必須重新授權。除了是發電用反應爐的替代燃料之外，MOX燃料也可用於其他種類的反應爐，例如快中子滋生反應爐等。經由添加少量的鈽，使得核燃料循環能更順利的進行，是MOX燃料的優點，如果控制得宜，MOX燃料的利用率可提高非常多。

放射性廢棄物

再處理後除了鈽與鈾之外所剩下的廢棄物液體，被歸類為高放射性廢棄物，在經由玻璃固化、裝入180公升的不鏽鋼容器後，貯存於賽拉斐爾德內的高放射性廢棄物貯存設施。在進行最終處置前必須先貯存50年，以降低其溫度以及放射性，之後待英國高放射性廢棄物最終處置場場址確認及完工後，即會運往處置場做永久處置。

進行再處理作業前，從用過核燃料束切除的外殼與端板等組件則屬於中放射性廢棄物，在放入特殊容器內並灌注混凝土使其安定化後，直接貯存在賽拉斐爾德廠內，預定於2040年移至中放射性廢棄物最終處置場。而進行再處理作業過程期間所使用的工具、手套、木材與塑膠等物品，因受輕微放射性汙染，屬於低放射性廢棄物，其中的金屬將儘可能除汙，以重複使用；不能再利用者則在統一壓縮後裝入半高型國際標準貨櫃，運往賽拉斐爾德附近的德瑞葛（Drigg）低放射性廢棄物最終處置場做永久掩埋。

NDA自2010年即開始將國外電力公司（日本、荷蘭、德國、瑞士與義大利）的用過核燃料，經由Thorp再處理後所產生的玻璃固化放射性廢棄物歸還。最近一次是在2015年9月底，將5桶運輸桶、內含共124罐的玻璃固化高放射性廢棄物，以鐵路自賽拉斐爾德運送至港口後，再以特殊的運輸船艦運回日本，完成第5階段的玻璃固化高放射性廢棄物運送作業。

但因再處理成本高昂，加上國際鈾價格低廉，現今多數國家傾向於直接處置用過核燃料，也不願使用經再處理製成的核燃料，因此，在各方面的經濟考量下，Thorp將在所有現有客戶合約完成後關閉，時間預計為2018年，英國目前也暫定



▲自 2010 年開始的高放射性玻璃固化廢棄物歸還計畫（圖片來源：Sellafield Ltd）

未來不會對新建反應爐的用過核燃料進行再處理。

當瑞（Dounreay）

除了Magnox與Thorp，英國在更早之前還在另一座擁有2座快中子反應爐，以及1座測試用反應爐的大型核子設施廠址─當瑞（Dounreay）內建造一座再處理廠，專門再處理國內外自研究或測試用反應爐所產生的用過核燃料。當瑞廠址內的再處理設施建於1957年，已於1996年停止運轉，期間再處理過約1.3萬束用過核燃料，其中有接近1/3是來自其他國家。該設施目前也處於除役階段。


▲英國當瑞廠址（圖片來源：Dounreay Site）

回收鈾與鈽的未來

早期不止英國，還有許多國家如保加利亞、捷克、荷蘭、匈牙利、西班牙、斯洛伐克、瑞典、烏克蘭與斯洛維尼亞等，都採取「再處理」用過核燃料，將其中的鈾與鈽回收再利用。然而，除了有核武擴散的風險，現今因為再處理的費用比將其直接處置高出許多，加上再製成MOX燃料的成本過高導致市場的價值低迷，且再處理作業期間所產生的高放射性廢棄物，仍需運回原委託國家做最終處置，種種原因導致這些國家決定放棄再處理這條路，而致力找尋當地最適合建立最終處置場的場址，例如芬蘭與瑞典，但大多數國家尚未對此做出決定。

雖然如此，法國、俄羅斯、日本（興建中）以及中國（測試中）仍決定繼續對用過核燃料採取再處理的方式，英國則決定在現有合約完成後暫緩再處理的計畫。

至於目前所貯存於英國、超過100噸的回收鈽，NDA表示，所有的工業技術均有其利與弊，並沒有所謂「完美」的解決方法，但目前在深入研究後可採納的方法有3種，均是再製成新的核燃料，只是供3種不


▲自用過核燃料中分離出來的粉狀鈾（圖片來源：Dounreay Site）

同類型的反應爐使用，供輕水式反應爐使用的MOX為其中一種，另外兩種為CANDU反應爐以及PRISM快中子反應爐的燃料。因此，多項一同進行或許是能創造最大經濟效益的辦法。

為了安全、又符合經濟效益的管理用過核燃料，NDA每兩年均會與供應商一起，對上述3種核燃料再製造重新進行技術研究，以確保有一定深度的瞭解，包含在風險方面亦是。

NDA也補充，他們會與供應商一同合作，除了會持續收集核燃料再製造方面的資訊之外，也會對現有的3種作法做更深入的研發。收集到的資訊經過整理後，英國能源暨氣候變遷部門（Department of Energy and Climate Change）將開啟必要的內閣程序，來決定是否要採用。當政府對其首選的項目有足夠信心，確定是安全且負擔得起、最重要是能符合經濟效益時，就可以開始著手進行了。

結語

位於全歐洲最大核子設施廠址內的Magnox與Thorp再處理廠，運轉的這些年來遵守NDA的規定，廠內所有設施的營運均被要求要在最高安全標準、對人體與環境均健康的狀態下運轉，各廠內的工作人員亦需盡最大所能降低各種風險。相信未來在停役後，也能確實執行除役作業，確保各核子設施與廠房在拆除後沒有遺留任何放射性物質，復原其最原始的面貌。

資料來源：

1.World Nuclear Association, “Processing of Used Nuclear”, Updated November 2015
2.Sellafield Ltd, NDA, Nuclear Management Partners, “Sellafield Plan”, August 2011
3.Dounreay Site Restoration Ltd, “Research Reactor Fuel Reprocessing Plant”
4.GOV.UK, “Managing Nuclear Materials and Spent Fuels”, April 2015
5.Martin Forwood, “The Legacy of Reprocessing in the United Kingdom”, July 2008
6.原子能委員會, “國外用過核子燃料再處理設施簡介”
7.行政院所屬各機關因公出國人員出國報告書, “參加「第15屆台英經貿諮商會議」”, August 2010
8.科技部駐英國台北代表處科技組, “英國新核能科技”, Updated August 2015
9.Youtube, Sellafieldsites, “Thorp”, February 2009

參加兩岸放射性廢棄物地質處置技術研討會與考察甘肅北山場址

文・施純寬

緣起

本人這次有幸參加2015年11月8-14日，由中國核學會鈾礦地質分會邀請中華民國核能學會放射性廢料學術委員會組成的訪問團，出席北京的「放射性廢棄物地質處置學術交流備忘錄」簽署儀式，並參加「兩岸放射性廢棄物地質處置技術研討會」，以及實地考察甘肅北山場址。

備忘錄簽署儀式的緣由，是因為近年來，中華民國核能學會與中國核學會在放射性廢棄物地質處置領域開展了逐步深入的學術交流活動；為進一步加強兩岸專家在此領域的交流合作，經雙方多次溝通交流，已就簽署備忘錄的內容及型式達成共識。希望經過這次的訪問，兩岸合作可以更上一層樓。

我方受邀組成的代表由放射性廢棄物學術委員會召集人黃慶村博士率團，成員分別來自中華民國核能學會、原能會綜計處、放射性物料管理局、清華大學、中央大學、淡江大學、核能研究所、台電公司、中興工程顧問公司、工研院等共16人。



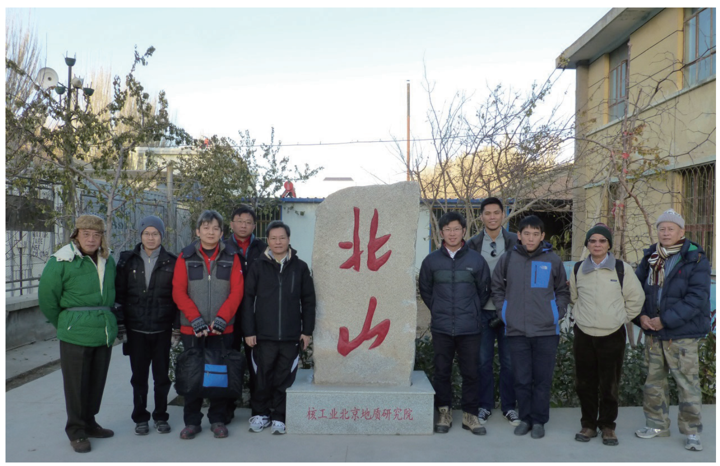
▲ 研討會會場

會議及參訪過程

11月8日，大部分團員約於當地晚上7點抵達北京首都機場。前往北京長白山國際酒店時，門口已有中核集團核工業北京地質研究院環境工程研究所陳亮副所長，以及田霄工程師在場接待。



▲ 人蔘果



▲ 高放地質處置玉門基地合照



▲ 大荒漠

11月9日早上開始研討會的議程，地點在酒店附近的核工業北京地質研究院舉行。開幕式由大陸地質院院長王駒，與我方團長黃慶村博士共同主持，中國核學會申立新秘書長以及中華核能學會黃小琛秘書長致詞。之後是簽署備忘錄儀式以及團體合照留影。接著安排4篇報告以及6篇學術論文報告。報告題目如下：

1.大陸高放廢棄物地質處置研究進展
2.台灣虛擬場址地底實驗室配置之岩石考慮
3.大陸高放廢棄物地質處置地下實驗室工程研究進展及下一步計畫
4.大陸高放廢棄物地質處置地下實驗室設計研究進展

學術論文題目如下：

1.Advances in Computational THMC Models: Past, Present, and Future
2.不同尺度地質結構面的調查與地下開挖方法研究
3.北山預選區深部岩體地應力測量與應力場評價
4.台灣在高放最終處置核種遷移實驗的現況與規劃
5.玻璃固化體中元素在北山花崗岩-高廟子膨潤土體系中的釋出行為研究
6.大陸高放廢棄物地質處置水文地質條件研究進展

11月10日，繼續發表8篇論文：

1.大陸高放廢棄物地質處置緩衝材料研究進展
2.HYDROGEOCHEM地化傳輸模式模擬放射性核種與工程障壁之地化傳輸特性
3.大陸高廟子膨潤土研究進展
4.放射性廢棄物地質處置參考案例研究

5.地質處置安全評價研究的現狀和後續工作思路
6.反應路徑模擬在花崗岩質母岩深層地質處置之應用
7.大陸低中低放處置場的選址與設計
8.金屬處置罐的複雜腐蝕過程(熱，水，力，化學環境)

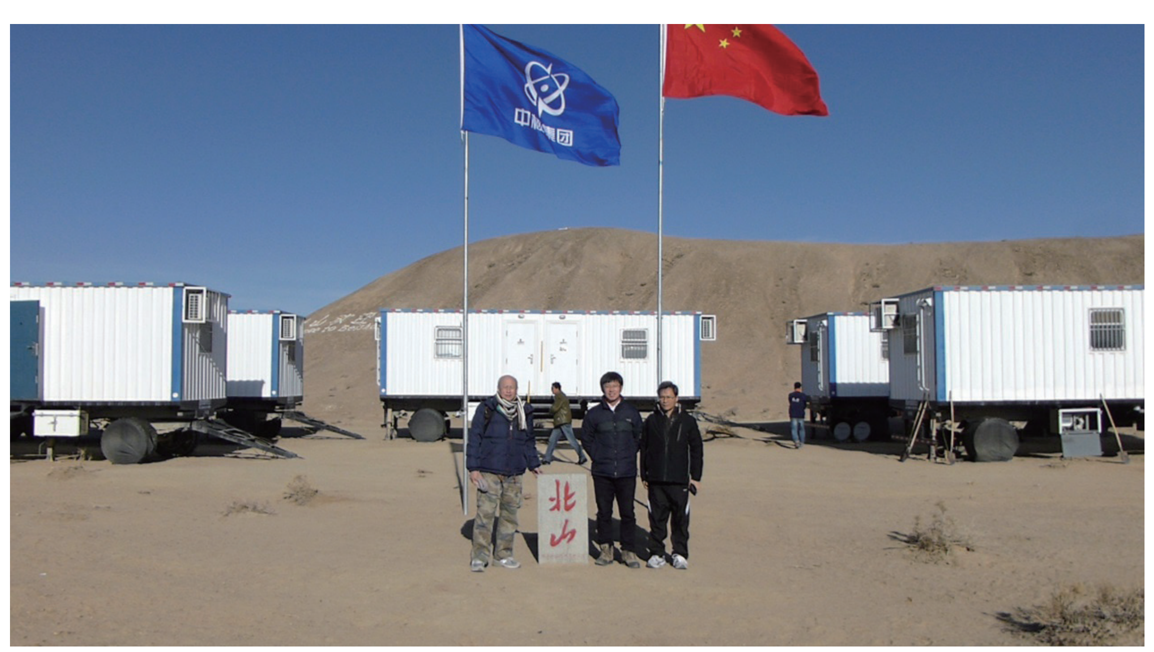
隨即舉行閉幕典禮，大家相約2016年8月敦煌放射廢料處置國際會議再見。

11月11日，一部分團員前往馬王堆考察，筆者是前往北山考察。由首都機場11:20起飛，停甘肅蘭州中川國際機場，再前往嘉峪關機場。換乘北山場址的吉普車，繼續前往玉門市，半途吃羊肉火鍋，並品嘗了相傳是《西遊記》裡的人參果，是很難得的體驗。

11月12日早上，先到玉門北山辦事處拜訪，現場介紹許多非常完整的岩心。接著驅車往北，約2小時後抵達北山場址。沿路大多為荒漠，沒有刻意鋪設的路面，一大片一大片的荒野，經過廣大的風力發電場，一望無際的戈壁灘，還看到幾隻駱駝。

北山指揮所由幾個大拖車車廂構成，有辦公室、寢室、廚房等，裝有太陽能發電板（發電功率2 KWp）。我們看了坑探設施，這是為了試驗用而開挖，於2015年6月26日開工，目前只進行了斜井（記得是25度傾斜），約100多公尺長的工程。預定2016年時要決定一個位置，深入地下；2020年設立地底實驗室，進行更多的經驗累積與技術建立；2050年開始地質深層處置。

主人擔心入夜天黑，路上交通安全問題，我們一行人即在下午3點多離開，返回玉門市。據瞭解，我們是台灣到達此地



▲ 北山場址基地


▲ 北山場址基地全景



▲ 北山坑道口


▲ 戈壁灘奔馳

的第一個隊伍。

11月13日，早上離開玉門賓館，在前往嘉峪關的半路，一行人參觀了玉門丹霞五彩地貌（據悉張掖市的區域是七彩），並參觀了天下第一雄關嘉峪關城。代表團搭乘下午的班機，經蘭州返回北京，隔天返國。

心得與結論

經由這次的會議與參訪，我們瞭解中國已經確定用過核燃料要進行後處理，廢棄物體則有玻璃固化體以及CANDU的用過核燃料，要使用深層地質處置法，圍岩是花崗岩，處置場採多重屏障系統的原則。事實上，在中國的「十二五」工作項目中，高放廢棄物的處置有相當的份量，包括戰略規劃、選址與場址評估、地下實驗室、工程設計與工程屏障研究、核種遷移研究、安全評估研究等。在經過6大預選區（北山、新疆、內蒙、華中、華南、西南）的比選調查後，現在已經確定甘肅



▲ 玉門丹霞地貌

北山為首選場址，面積約48萬8千平方公里，人口約12,000人。後續的規劃項目如地下實驗室部分，已經啟動該實驗室的安全技術研究和工程建設的前期工作，包括選址與實驗室設計等。預計於2016年確定地下實驗室場址，目前進行中的是建設「北山坑探設施」。

經過詳盡的地質調查、鑽探與開挖，工程師們可以確定地質處置的可靠性與安全性。全世界在處置各種人為的廢棄物做法，我們絕對發現不到有哪一種作為比處理放射性廢棄物更仔細與詳盡的。

台灣在目前的能源選項中，不是主觀的去除核能之後，就能讓我們高枕無憂。而是要相信我們的科學家與工程師的努力，同時要向全世界學習、進行客觀的學術與技術經驗交流，方是正途。

（本文作者為清華大學榮譽退休教授，現為核能與新能源教教育研究協進會執行長）



▲ 北山坑探設施口，花崗岩外



▲ 嘉峪關城

以輻射為藥，給癌細胞精準有效的近身打擊

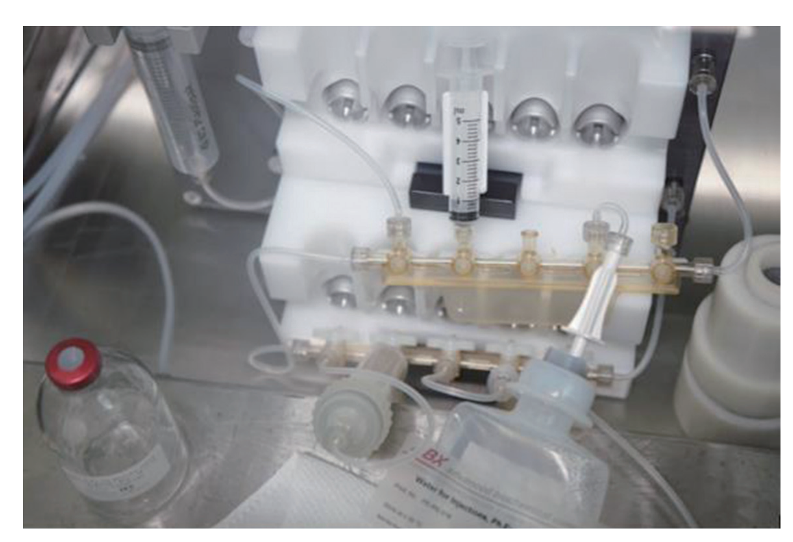
文・廖英凱

「放射線治療」是個在今日醫學界被廣泛使用的醫療技術。從最常見用於診斷用的X光、核磁共振，到利用游離輻射體外照射或是體內植入核種曝露。特別是在今日癌症的治療上，放射線治療已能有效縮小癌細胞，提升外科手術的成功率。我們可以很輕易地想像，大部分的癌症腫瘤都在身體內部，因此透過體外照射的方式，接收到最多游離輻射的往往是表面的組織，而非真正需要消滅的癌細胞。因此，如何讓能放出游離輻射的「藥物」能精確地放在體內癌細胞的附近，如何讓這些藥物能傳達適當劑量的輻射，以及確保這些藥物不會有過多的副作用，就是放射線治療當前的研究重點。

核能研究所的李德偉博士及其團隊，目前正陸續成功開發出用於治療腫瘤的放射性藥物。核能研究所位於桃園龍潭，是隸屬於行政院原子能委員會，專責各項與核能、能源和輻射應用、放射治療有關的研究機構。研究團隊目前針對癌症中排名第二高的肝癌，開發出^{188}Re-HSAM，做為治療肝癌的藥物。^{188}Re-HSAM分由3個部分組成，分別為能放出游離輻射的「核種^{188}Re（錸）」、利用配位共價鍵與核種結合的「人類血清白蛋白微球體」（Human Serum Albumin Microsphere, HSAM），以及能將兩者順利結合的「配方緩衝劑」。

在核種的部分，^{188}Re有一些很適當的特性能作為放射線來源。它的半衰期為17小時，因此在體內衰減的時間快。且^{188}Re能放出兩種游離輻射，分別是能量為15.5萬電子伏特(155KeV)的γ射線和能量是2.1百萬電子伏特(2.1MeV)的β粒子。γ射線的能量低，且能夠穿透人體，因此醫生可以藉由從體內射出的γ射線來分析腫瘤的所在位置與狀況，也由於放射線同時對所有細胞都有影響，因此先透過低劑量低能量的投藥來觀察，依據病患腫瘤與正常組織比例、肺分流百分比、肝功能及腫瘤大小來訂定最佳劑量，以確保對癌細胞的劑量是對正常細胞劑量的一倍以上，是作為治療前期的精確診斷。

而藉由γ射線的前期分析結果，接下來就能提高劑量，利用能量較高的β粒子來消滅癌細胞。與γ射線能穿越人體不同，β粒子是高速運動的電子，僅能穿透人體組織平均0.25公分，因此β粒子所攜帶的能量，就會完全被人體組織所吸收，



▲ ^{188}Re 可在核能研究所的「發生器」中，由 ^{188}W 製備

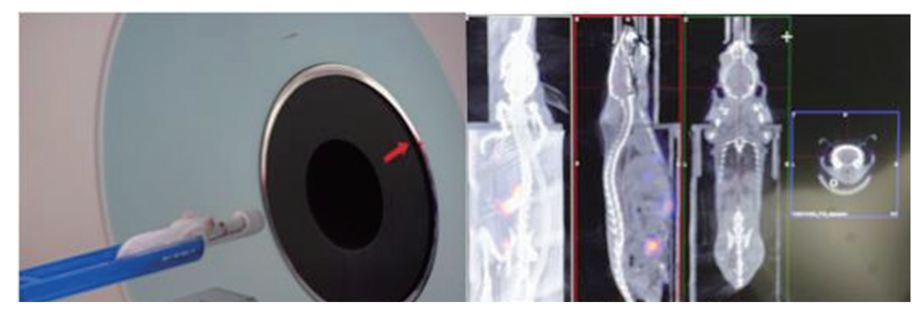
達到消滅癌細胞的功效。再考量到原料的來源，^{188}Re的半衰期短，自然無法從國外進口，需要有相關核能工業的配合。而研究團隊所採用的^{188}Re，可利用「發生器」內的^{188}W（鎢，半衰期69天）衰變而來，核研所能自行製造量產。相較其類似的核種，如半衰期90小時的^{186}Re，就需要從核反應爐中取得，除須配合反應爐的安全管制，製造步驟也較為繁瑣。雖然母核種^{188}W也必須取自核反應爐，但由於半衰期長，所以可以減少反應爐內作業的頻率。

在核種確定後，研究團隊選定了HSAM作為攜帶核種的藥劑。早年的體內放射線治療，多是在患部植入膠束、導管或金屬片。這樣的缺點是植入取出過程的手術會對身體有害，且當癌症腫瘤過於分散的時候，會大幅提高植入難度，且異物在身體內也會對病患造成不適。而HSAM是一種胜肽化合物，能在人體內被自然降解而不留下殘留物。再搭配「肝動脈栓塞手術」，讓^{188}Re-HSAM能被聚集在動脈與微血管的交界處。這是利用HSAM直徑約20微米（μm）大於微血管直徑6~9μm的特性。因此利用肝動脈導管，將藥劑注入供應肝臟癌症腫瘤養分的血管中，並因無法通過微血管而被截留，就能以近距離由內而外給予有效的高輻射劑量，殺死腫瘤。

總括今日對於癌症治療的方式，體外放射治療受限於腫瘤數量、體積與腫瘤深度。體內放射物植入有異物不適感，且無法應付過於分散的癌症腫瘤。而以肝癌來說，傳統化學治療在目前約可使10-30%晚期肝癌病患的腫瘤明顯縮小，但卻無法使病人在化療後得到存活的優勢。這是因為肝癌細胞本身的抗藥性，加上患者肝功能低落時更難承受化療藥物的副作用。而核研所所開發的^{188}Re-HSAM，結合既有低風險的手術技術又能避免化療副作



▲ 由核研所生產的 ^{188}Re-HSAM，封裝至屏蔽容器後，便可送交各醫院放射科使用



▲ 研究團隊用小白鼠測試 ^{188}Re-HSAM 在身體內的分布情形

用，並對腫瘤細胞做精確診斷與治療。近年來，開始有越來越多醫生採用核醫藥物作為診治的方式。近期核研所自行研發的核醫藥物，在腫瘤抑制上已取得非凡的成果，未來搭配既有的外科技術與化療，希望能在癌症的治療上，能有更多的突破與助益。

從核反應爐的產物，到注射入身體內的藥物，核研所的團隊也匯集了原子科學、分子生物、動物與生命科學等人才，並與醫學界和藥廠合作，從核種的試驗到藥物的合成，從動物試驗到人類臨床。對於生技醫藥產業尖端研發並不蓬勃的我國來說，李博士仍滿懷使命感地說：「事在人為，不做一定失敗，做了還會有成功機會。」相信在不久的將來，這項成功的技術，將成為人類維繫健康、減少病痛的新希望。

（本文作者為「泛科學」網站專欄作家，原文刊於「工研院解密科技寶藏」與「泛科學新聞網」）

中國對核能緊急應變能力信心十足

文・編輯室

中國國務院於1月27日發表《中國的核應急》白皮書。這是中國第一份與核能相關的白皮書，詳細的說明中國如何強化核能緊急應變與促進核能安全的政策和措施。白皮書中並表示，隨著中國核能事業的發展，核能安全已同步更形茁壯。

這份由國務院新聞辦公室發表的白皮書指出，自中國第一座核電廠（秦山）於1985年開始營運以來，至2015年10月底止，中國大陸已經有27部反應爐在運轉中，總裝置容量達到2,550百萬瓩（GWe）。此外，尚有25部反應爐正在興建，總裝置容量將可再增加27.5百萬瓩。

在這份名為《中國的核應急》白皮書中強調，中國始終將核能安全置於核能產業發展的首要地位。

白皮書中亦表示，「中國的核能相關活動一直維持在安全和穩定的狀態，特別是中國的核能設施從未發生高於國際核能事件分級表（International Nuclear Event Scale, INES）中第2級的事件（註；INES的分級制度類似地震的分級，依嚴重程度由小而大共分為7級）。外釋的氣態和液態排放物質，也保持在遠低於國家管制限值之下。此一『穩妥的安全紀錄』乃歸功於在核安技術的精進提升、核安監督的嚴格把關，以及在核能緊急應變管理的加強等各方面所投注的心力。」

「中國已吸取了包括美國三哩島、蘇俄車諾比與日本福島第一核電廠等，全球幾次重大核能事故的經驗教訓，已更深刻的體認到，核能緊急應變具有無比的重要性。中國正持續強化和改善其對核能緊急事件的準備及應變能力，以提升核能安全。」

「中國核能緊急應變網具有適當的規模、完善的協調以及合理的配置。目前已成立超過30支的國家級專業應變小組，具備可從事各類救援任務的專長。中國還將成立一支300餘人的『國家核應急救援隊』，以應付嚴重核子事故，並參與國際的救援工作。」

白皮書還提到了中國正在採行的5項措施，可用以控制和減輕核子事故的後果。這些措施包括：確保設計、製造、興建和運轉核能設施的品質；嚴格的操作程序；電廠安全和保護系統的自動化；防止放射性物質外釋的事故處理程序；以及可減輕對民眾和環境影響衝擊的廠外緊急措施。

資料來源：
http://www.world-nuclear-news.org/RS-China-confident-in-nuclear-emergency-preparedness-2701164.html

美國就高放處置場址正廣徵民意

文・編輯室

美國能源部正徵詢民眾的意見，透過「以取得（民眾）同意為前提」的方式，來進行使用過的商用核燃料和高放射性廢棄物貯存及處置設施的選址程序，截止期限為2016年6月15日。

徵求公眾意見的公告，已刊載於2015年12月23日發行的美國聯邦公報。而一系列公開說明會的首場活動，已於2016年1月20日在首府華盛頓特區舉辦。

當在內華達州雅卡山脈設置國家級用過核燃料最終處置場的計畫遭擱置後，美國政府成立一個藍帶委員會（Blue Ribbon Commission），開始擬訂替代方案，以管理和處置美國用過核燃料與高放射性廢棄物。

這份替代方案大致上是一套集中式的放射性廢棄物管理體系。第一步是在2021年之前先開發一座先導型中期貯存設施，接收從已經關閉的反應爐退出的用過核燃料；接著再於2025年之前興建一座較大型的中期貯存設施，並以2048年之前設置一座或多座長期深層地質貯存場為最終目標。在整個貯存設施選址的過程中，均將採行「以取得（民眾）同意為前提」的決策制定模式。

目前美國能源部的徵詢方向偏重在尋求公眾的意見，徵詢內容包括：如何定義「同意」？選址過程中如何儘量地確保其公平性？在設計選址程序時，應該使用何種模式及先例（加拿大、芬蘭和瑞典目前都是利用「以取得同意為前提」的模式，進行放射性廢棄物處理設施的選址作業）？哪些人應該納入選址程序中？以及，民眾和在地團體認為需要哪些資訊，才能使他們具備參與選址過程的能力等等。

首場公開說明會是由能源部主管科學暨能源次長奧爾（Lynn Orr）主持，他並參與主題演講、小組討論、詢答座談以及文宣展覽。後續芝加哥以及亞特蘭大的公開說明會分別訂於3月與4月舉辦，其餘場次的時間表則將於稍後公布。

目前已有兩家民營企業提出中期貯存計畫的提案：一件是由德州廢棄物管控專業公司（Waste Control Specialist）所提出，位於德州的集中式中期貯存設施；另一件是由霍爾台克國際公司（Holtec International）和艾迪利能源聯合公司（Eddy-Lea Alliance）所共同提出，位於新墨西哥州的用過核燃料中期貯存設施。這兩個案子目前都仍在進行中。

資料來源：
http://www.world-nuclear-news.org/WR-US-public-views-sought-on-waste-siting-consent-2601167.html

日本內閣提案修法支持用過核燃料再處理

文・編輯室

日本內閣日前通過了一項法案，旨在「採行必要措施，以持續進行用過核燃料的再處理。」該法案除將設立一個新的機構以負責再處理事務外，並將採用一套新制度以籌措再處理所需的經費。

在2月5日的會議中，日本內閣通過了一項法案，修正有關「核能發電用過核燃料再處理後端儲備基金的籌措與管理法」的部分條文。日本政府並計畫在本屆國會會期內完成修法。

就在內閣會議的同一天，日本經濟產業省（METI）發表了一份聲明，指出用過核燃料再處理和鈽鈾混合燃料（MOX）的使用，是內閣於2014年4月批准的基本能源計畫（Basic Energy Plan）的關鍵項目。然而，經產省表示，隨著日本即將在4月開始實施的電力零售市場全面自由化，競爭的加劇會對核電的經營環境產生重大的衝擊。因此，經產省提醒說，這意味著核燃料再處理所需資金的來源可能難再確保無虞，因此用過核燃料再處理業務或許將停滯難行。

這份最近批准的法案中的一項重要措施，就是重訂一套新的「分攤制度」，以挹注用過核燃料再處理所需資金。亦即將要求各核電廠的營運者，不再根據核能發電量，而是依照個別所產生的用過核燃料數量多寡，分攤提撥用過核燃料再處理基金。

目前，在日本經產省自然資源與能源廳（Agency for Natural Resources and Energy, ANRE）的監管下，日本十大電力公司須向原子力環境整備促進資金管理中心（Radioactive Waste Management Funding and Research Center, RWMC）繳納未來用過核燃料再處理的規費。費率是每1度由核能發出的電，須提撥0.5日圓（約1.5新台幣）。根據ANRE的報告，至2015年3月止，RWMC所累積的基金總數為2.4兆日圓（約合6,700億台幣）。

該法案還准許成立一個新的「官方授權機構」，負責日本用過核燃料再處理的相關事宜。此外，該法案還引入了一個所謂「適當的治理體系」，包括設立一個可能會納進第三方的指導委員會，負責該「官方授權機構」的經營決策。

成立於1992年的日本原燃有限公司（Japan Nuclear Fuel Limited, JNFL），經營全日本的核燃料循環相關設施，包括鈾濃縮、用過核燃料再處理、MOX燃料製造，以及低放射性廢棄物的處置等。由日本各大電力公司及其他股東聯合成立，在青森縣六所村營運一座核燃料循環工業園區。

資料來源：
http://www.world-nuclear-news.org/WR-Japanese-bill-seeks-to-support-reprocessing-business-0902164.html

瑞士專家：最終處置場址調查應包括 3 處場址

文・編輯室

瑞士兩組專家於2月8日提出報告，認可由瑞士國營放射性廢棄物處置企業-納格拉（Nagra）公司提交的放射性廢棄物最終處置場選址建議書。然而，他們也要求對諾力拉根（Nordlich Lagern）場址地區進行進一步的調查。

根據放射性廢棄物最終處置場場址遴選計畫，瑞士要透過3階段的選址過程，選出低／中放射性廢棄物以及高放射性廢棄物最終處置場場址各一處。2011年11月，納格拉公司在選址程序的第一階段時，曾篩選出6個最終處置場可能場址。而聯邦準則（Federal Guidelines）中要求納格拉公司必須於第二階段提出選址建議書，從中建議至少2個場址，在選址第三階段時進行深入的調查。因此在2015年1月，納格拉公司提出以蘇黎世諾多（Zurich Nordost）與祖拉歐斯特（Jura Ost）兩個建議場址，進入選址計畫的第三、也就是最後階段，進行更深入的調查研究。而於第二階段時納入考量的其他4個場址——蘇壯登（Sudranden）、諾力拉根、祖拉蘇富斯（Jura-Sudfuss）和維蘭伯格（Wellenberg）等地，則當成備案。

州級安全工作小組（Cantonal Working Group on Safety AG, SiKa）和州級安全專家小組（Cantonal Expert Group on Safety, KES）現已表示他們同意納格拉公司的建議，應選定以硬泥岩做為各類放射性廢棄物的最終處置岩層，故應將蘇壯登、祖拉蘇富斯和維蘭伯格等3個場址當成備案。而蘇黎世諾多與祖拉歐斯特2個場址，則繼續進入選址過程第三階段的進一步調查。

不過，這兩個小組都傾向於也應該對諾力拉根場址進行更深入的調查。

納格拉公司先前已經表示，依照諾力拉根場址的地質，在理想的深度範圍內，地下空間不敷高放射性廢棄物最終處置場使用。因此從工程觀點來看，在實務上，該場區內不可能將放射性廢棄物最終處置場建在最佳地底深度。納格拉公司再補充說：「如果再挖得更深下去，是可以提供更多的空間，但會面臨工程上更大的挑戰，而地質條件也會變得差很多。」

但是納格拉公司在去年12月改口說，雖然有違該公司的立場，不過還是決定開始籌劃進行諾力拉根場址的調查，以避免萬一等到最後，瑞士聯邦核安全監察局（Federal Nuclear Safety Inspectorate，ENSI）卻決定該地區仍須進行進一步的調查，因而造成進度延誤的後果。調查作業包括準備第三階段的探勘計畫、規劃三維地震量測活動，以及決定進行深鑽孔取樣的可能地點。

納格拉（Nagra）公司選址三階段執行概要			
	第一階段	第二階段	第三階段
內容	根據安全及地質要求，確認出適合的可能場址地區	對每個可能場址地區進行先期安全評估與安全評比	對每個建議場址地區進行深入的地質安全調查，和社會／經濟／生態衝擊研究，以及研商擬訂補償方案
目標		提出進入選址程序的建議場址名單：低／中放射性廢棄物以及高放射性廢棄物各要有 2 個建議場址供選擇	提出執照申請：低／中放射性廢棄物以及高放射性廢棄物場址各 1 張（若設在不同場址），或者合併 1 張（若設在同一場址）
結果	1.2008 年 10 月，Nagra 就已知的地質資料，篩選出蘇黎世諾多、祖拉歐斯特、蘇壯登、諾力拉根、祖拉蘇富斯和維蘭伯格等 6 個可能場址。 2. 於 2011 年 11 月獲得 ENSI 審查通過。	1.2015 年 1 月，Nagra 提出蘇黎世諾多與祖拉歐斯特 2 個建議場址。其他 4 個場址則當成備案。 2. 現正審查中，ENSI 希望能於 2017 年初完成審查。 （註：因蘇黎世諾多與祖拉歐斯特 2 個場址區都可同時容納低／中放射性廢棄物以及高放射性廢棄物最終處置場，故只要 2 個場址即可符合要求）	1. Nagra 預定於 2020 年選出場址，提出執照申請。 2. 預定於 2027 年完成審查。
備註	1. 預定 2027 年：在三階段完成後進入發照程序，並由聯邦委員會（Federal Council）擇定場址 2. 預定 2028 ／ 2029 年：聯邦委員會將擇定的場址提交國會，國會批准與否則視選擇性公投結果而定。 3. 預定 2050 ／ 2060 年：低／中放射性廢棄物處置場，以及高放射性廢棄物處置場分別開始運轉		

由於納格拉公司認為，雖然處置場可以安全地構築在地底900公尺的深度，不過這樣的深度並不會較700公尺的深度為佳。因此，ENSI於2015年9月，要求納格拉公司補送有關處置場最佳安全深度的技術文件。納格拉公司則在2015年12月表示，將花上大約6個月來準備這份補充文件。ENSI方面希望最終評審結果能在2017年年初出爐。

2006年以前，瑞士的用過核燃料有相當多是送往海外進行後端再處理。而自2006年起，高放射性廢棄物和用過核燃料大多存放在伍倫林根（Wurenlingen）的集中式中期貯存場。自1983年以來，納格拉公司在格里姆瑟爾（Grimsel）的一個地底實驗室，進行高放射性廢棄物最終處置場的研究。

參考資料：

1.http://www.world-nuclear-news.org/WR-Expert-groups-call-for-Swiss-repository-studies-to-include-third-site-0802164.html

2.http://www.bfe.admin.ch/radioaktiveabfaelle/01277/01308/index.html?lang=en

3.http://www.nagra.ch/en/timetable.htm)

核能新聞

文．編輯室

國外新聞

日本高浜電廠 4 號機組自動停機

日本關西電力公司於今（2016）年3月1日發布新聞稿，位於福井縣的高浜核電廠4號機組（87萬瓩壓水式反應爐），在重啟3天後的2月29日下午，因發電機與變壓器內部出現異常，渦輪與反應爐在自動警報系統將48支控制棒置入反應爐後自動停機，目前反應爐狀態穩定。

關西電力公司表示，此次意外並沒有使該座機組的冷卻系統受到損害，也沒有對周遭環境造成任何影響，「我們正在調查原因，目前重新恢復運轉的時間仍屬未知數」，相關的正式報告也已上呈至原子力規制委員會（NRA）。該座機組才在2月20日下午，因廠房內閘門上的螺栓未拴緊，導致反應爐冷卻水自閘門內向外滴出，但這並沒有對機組的重啟造成任何延遲。

日本媒體也就此報導，這兩次意外預計將引起外界對安全管理方面的關注，尤其核安為日本能否說服當地反核聲浪支持反應爐重啟的關鍵。高浜電廠3、4號機組於去年底獲准重啟，剛好也為日本第3與4座獲准重啟的反應爐，均使用混和氧化物燃料（MOX Fuel）來替代低濃縮鈾，該兩座機組也是福島事故後日本首次恢復使用MOX燃料的兩座反應爐。

另外，NRA也在2月底時宣布，高浜電廠1、2號機組的安全規範完全符合標準，成為日本首例運轉壽命超過年限40年的反應爐通過新式安全審查，待原子力委員會（AEC）與經濟產業省（METI）舉辦公聽會後，NRA將會正式批准延役，最多可延長20年。除了高浜1、2號機組，關西電力公司也為今年運轉將滿40年的美浜核電廠3號機遞交了延役的申請。

註：日本大津地方法院於3月9日下達暫停關閉高浜3、4號機組的指令，該指令是由數個質疑新式標準的反核組織所要求，關西電力公司對此表示，將全力證明3、4號機組的安全性能，盡快解除禁令。

關西電力公司 & Nuclear Engineering International, 03/2016

法國準備延長核電廠壽命

法國環境與能源部部長羅雅（Segolene Royal）於最近受電視台採訪時表示，將準備讓符合法國核能安全標準的核電廠延長10年運轉壽命。

法國核電廠提供了法國將近3/4的電力，但法國核電工業在福島事故後成為各界的焦點，導致法國承諾將降低對核電的依賴至一半，以提高對再生能源的使用。在訪談時羅雅被問到是否準備好將現今核電廠的運轉壽命延長至50年，羅雅對此給予正面的回應，除了會依據法國核能安全局（ASN）的建議來批准該提議之外，也提到多年來法國民眾在核電方面已投資不少，現有核電廠已經回收成本，生產電力的價格會陸續降低。

法國國有電力公司EDF目前在法國擁有58座反應爐，EDF在此前曾表示，此舉將有助於改善EDF的財務狀況。

Reuters, 02/28/2016

瑞士國會改口，決議廢核不設限

瑞士國會已於近期表明，參議院與眾議院均拒絕替現有核電廠設置關廠時間，這也暗示著因5年前的福島事故而採取的廢核政策，是否有可能有任何轉機。大多數議員都同意關閉現有運轉中核電廠是沒有意義且草率的行為，維持現有核電廠運轉也可避免讓電廠營運廠商以電廠過早關閉作為理由，來要求財政補償。

自2011年福島事故後，瑞士隨即開始爭論其境內5座核電廠的未來動向，之後決定採取逐步廢核政策，規定所有核電廠最多只能運轉50年，並中斷興建3座機組的計畫。現今瑞士約有4成的電力是來自核電，依照其「2050能源策略（Energy Strategy 2050）」，將以增加水力以及其他能源發電，並提高能源效率，來填補廢核後的空缺。

目前電廠運轉年齡成為反對者逼迫較古老電廠關閉的原因，瑞士擁有2座全球最古老的核電廠，其中的米勒貝格（Muhleberg）電廠（建於1972年），其營運公司BKW集團於近期向主管機關通報，將依照「2050能源策略」於2019年底關閉只有1座機組的米勒貝格電廠，除役的時間將達15年，費用大約是8億美金（約240億新台幣），結果現在卻卡關於國會。除此之外，瑞士在2014年5月時於米勒貝格電廠當地，針對「是否應立即關閉該電廠」舉行投票，結果卻遭到當地64%的居民否決。

Nuclear Engineering International & Swissinfo.ch, 03/2016

日本伊方電廠申請重啟

日本四國電力公司向日本原子力規制委員會（NRA）提出伊方電廠3號機的機組改良計畫，邁入重啟三階段程序中的第二個階段。伊方3號機的工程規畫於2013年7月提交至NRA，去年7月獲准，顯示其可在安全的狀態下運轉，最初的動工計畫於去年10提出，在NRA指出需要修改的地方後，即是現在的改良計畫。四國電力公司表示，計畫內容主要是強化核電廠對自然災害（包括地震、海嘯以及龍捲風等）的應對能力，同時也對戶外安全相關設備做出加強。

今年1月時，四國電力公司向NRA提出申請，替伊方3號建造備用應急建築，以及安裝額外的緊急空氣冷卻渦輪機。一旦伊方3號的改良計畫獲得批准，四國電力公司就可以向NRA提出執行「試運轉階段的安全審查」的申請，離重啟商轉更近一步。

日本目前有20座反應爐正在申請重啟當中，NRA將視各支持核電重啟縣市需要的程度優先進行，九州電力公司的高浜電廠4座機組均通過審查，1、2號機目前已開始運轉。

Nuclear Engineering International, 03/07/2016

中國研發 100%自主權的漂浮式核電廠

中國核工業集團公司（以下簡稱中核集團）旗下的中國核動力研究設計院，聯合中國國內船體平台的研發、設計與製造單位，已完成針對中國海域來研發漂浮式核電廠初步的設計與關鍵的技術工作，計畫於今（2016）年底啟動示範用反應爐。

中國國家發展和改革委員會於近期正式同意，將中核集團的海上漂浮式核電廠（ACP100S）納入中國「十三五」能源創新

計畫當中。ACP1000S為「多用途模塊式小型壓水反應爐ACP1000」的海上應用型號，由中核集團完全自主研發、設計，完全符合第三代反應爐的安全要求，可滿足為海上鑽井平台、海島開發、為偏遠地區提供熱、電、水等多元化需求。作為中國高科技術產業發展項目，ACP1000S已於2011年獲得中國國家能源局批准，且已完成所有科學研發的工作。

中國核動力研究設計院表示，目前已完成電廠的初步設計與關鍵技術工作，具備啟用示範用反應爐的基本條件，預計今年底啟動示範用反應爐，並於2019年建造完成，正式運轉。中國核動力研究設計院在研發海上小型反應爐方面已累積超過50年的經驗，已開發包括ACP10S、ACP25S、ACP100S三種不同功率規模的漂浮式反應爐，還可進行不同的單雙組合，建立不同功率規模的漂浮式核電廠。

由中國核動力研究設計院研發的漂浮式反應爐均為自主開發，擁有100%的智慧財產權，相關漂浮式核電機組型號的國內外專利佈局與產權保護工作也已經完成，僅ACP100S就已獲得385項的國家專利，並與國際最大的英國勞氏船級社（從事船舶檢驗的民間風險機構）與國際原子能總署IAEA簽訂合作協議，已展開漂浮式核電廠的安全審查與法規制定作業。

中國國家核安全局，01/19/2016

研究警告：英國供電缺口將擴大

英國機械工程師協會（Institution of Mechanical Engineers）於今（2016）年1月底發布的研究報告中提到，英國政府計畫將在2025年關閉所有的煤炭發電廠與屆齡的老舊核電廠，但英國的電力需求卻持續上升，這將使英國面臨40-55%的電力缺口。

該研究的作者對此提出3點建議，第一，英國國家基礎建設委員會應執行必要的措施，來刺激工業與一般民眾降低電力需求，提高能源效率，並擴大宣傳來增加民眾的認知。第二，基礎建設委員會必須儘快執行必要的改革措施，將重點擺在投資與開發再生能源發電，包含再生能源的儲電技術、電廠設計與設施創新等，向工業與一般民眾證明「沒有燃煤發電電力供應仍無虞」。第三，政府與業界也需再次評估電力供應鏈的生產能力，將新電力基礎建設分配至最需要的位置。

該研究報告質疑，英國政府此前提到「透過建立複循環燃氣渦輪發電廠（CCGT）來填補電力缺口」是個不切實際的計畫，因為英國政府必須在10年內興建將近30座的複循環然氣渦輪發電機組，英國在過去10年僅建立4座該種渦輪發電機組，卻關閉了其中1座與其他8座電廠，加上英國共有20座核電廠在2005年時被列入除役的名單，將留下巨大的電力缺口，而且英國並沒有足夠的資源與擁有專業技術的人力，來建造如次龐大數量的發電廠，除了目前興建中的欣克利角C核電廠，現在再去規劃與建設其他核電廠都已經太晚，速度完全無法追上2025年的「無煤發電」目標。

該研究報告呼籲，英國電力供應正面臨危機，政府需儘快採取緊急措施，建立包括化石能源與核能發電廠，還有儲存能源與汽電共生等的新電力設施，以填補國內的電力缺口。

World Nuclear News, 01/26/2016

國內新聞

核一廠 2 號機反應爐急停原因已釐清，原能會同意再啟動申請

3月10日13時11分核一廠2號機反應爐水位過高，機組依安全設計自動引動主汽機跳脫及反應爐急停，所有安全設備均動作正常，未影響反應爐安全也沒有輻射外洩，屬國際核能事件分級制度（INES）的0級事件。

原能會在接獲台電公司事件通報後，即責成駐廠視察員確認機組安全停機無輻射外洩情形，並要求台電公司須查明事件發生原因，提出必要改善措施。

經查，此事件為人員執行電池充電機換台操作時，因誤關閉電源開關，造成反應爐水位異常上升，最後導致水位達到設定點而引動反應爐急停。台電公司在確認設備均已回復正常並綜整此次事件的過程、原因、後續處理情形及改善措施後，向原能會提出再啟動申請。

原能會已完成審查並確認反應爐急停的原因已釐清、事件過程中安全系統均正常運作，以及台電公司亦檢討相關作業疏失、加強訓練、宣導及完成必要改善後，依「核子反應爐設施停止運轉後再啟動管制辦法」的規定，已於3月14日17時20分同意機組再啟動。

2016.03.14，本刊訊

台電參照國際核電廠除役經驗廠內安全貯存核廢為過渡作法

針對媒體報導核電廠除役後，台電規劃將高放射性廢棄物直接貯存於原址一事，台電澄清說明，台電參照國際間核電廠除役規劃作法，以廠內暫時安全貯存為過渡方式，待最終處置場位址確定後，再進行後續遷移作業。台電強調，用過核燃料是既存事實，須全民共同面對。台電正積極努力推動最終處置場址選址作業，而目前電廠規畫除役期間的安全貯存僅為過渡期，不是外界所傳將作為核廢最終處置場。

台電指出，核一廠除役計畫已於去（2015）年11月24日向原能會提出，經核准後，原能會於今年1月22日上網公告。台電參照荷蘭、瑞士、比利時等國，規劃推動興建放射性廢棄物集中式貯存設施，預計於今年9月提出可行性研究報告，待主管機關核准後，除辦理場址與環境影響評估外，將力求公開透明持續溝通。未來集中式貯存設的建置完成後，屆時可將核電廠暫存的除役放射性廢棄物遷移集中貯存。

台電表示，鑒於最終處置場址選址作業需要較多時間與民眾進行全面溝通討論，以達成共識，目前台電持續努力與地方政府及民眾進行溝通，以順利推動選址作業。

2016.03.01，本刊訊





輻射好可怕？關鍵是「劑量」

一次搞懂手機、X光、微波爐、基地台、電視、核電廠的輻射真相

以醫學影像及放射科專業，破解與輻射相關的科學謠言。

本書以輕鬆有趣的方式講述有關輻射與放射線的基本知識，各篇均輔以幽默插圖和清晰易懂圖表，讓讀者對日常生活中與輻射相關的事物能有正確的認識，並能因了解真相而得以安心。

